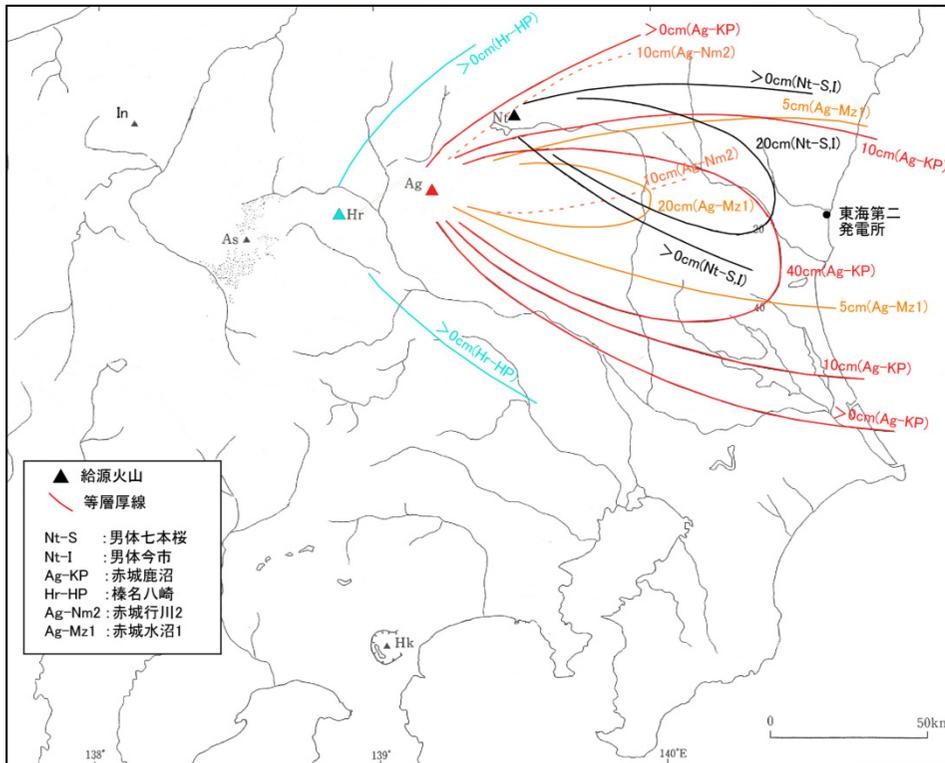


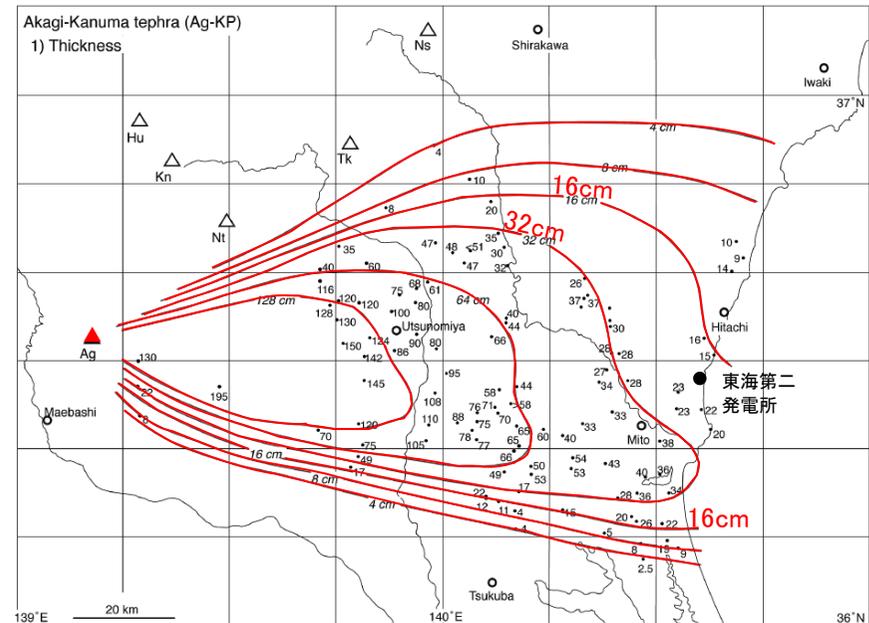
敷地周辺で確認または分布が推定される降下火砕物①

敷地周辺(半径約30km以内)で確認または分布が推定される降下火砕物のうち、発電所の運用期間中に同規模の噴火の可能性がある降下火砕物の分布を以降に示す。

- 敷地において最大層厚となる降下火砕物は赤城鹿沼テフラ (Ag-KP) である。



敷地周辺の主な降下火砕物の分布
(町田・新井(2011)に基づき作成)



第17図 赤城鹿沼テフラ(Ag-KP)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。Ag = 赤城火山；Hu = 榎ヶ岳火山；Kn = 鬼怒沼火山；Ns = 那須火山；Nt = 男体火山；Tk = 高原火山。

赤城鹿沼テフラの等層厚線図
(山元(2013a)に加筆)

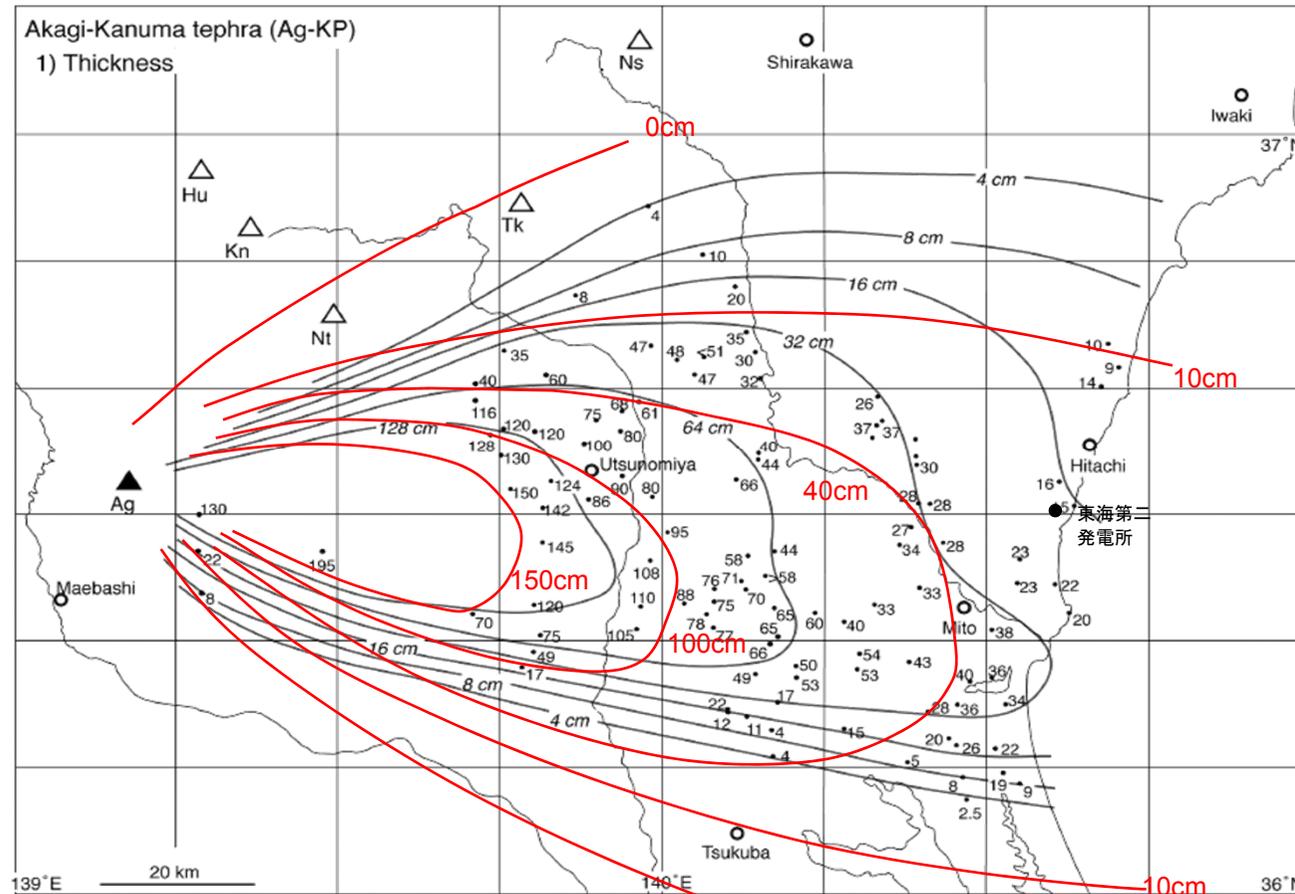
敷地周辺で確認または分布が推定される降下火砕物②

コメントNo. 5

第432回審査会合
資料1 修正

文献で確認される赤城鹿沼テフラの分布は以下のとおり。敷地の層厚の評価においては敷地周辺での層厚のばらつきも考慮し、40cmと評価する。

- ・敷地は町田・新井(2011)が示す等層厚線図の10cm~40cmの範囲に位置している。
- ・敷地は山元(2013a)が示す等層厚線図の16cm~32cmの範囲に位置している。
- ・町田・新井(2011)と山元(2013a)に示される赤城鹿沼テフラの分布傾向は概ね整合しており、山元(2013a)において確認される敷地付近での層厚は20cm程度であるが、敷地の南側には赤城山から敷地までの距離と同程度の位置に34cm~38cmの層厚が確認される。

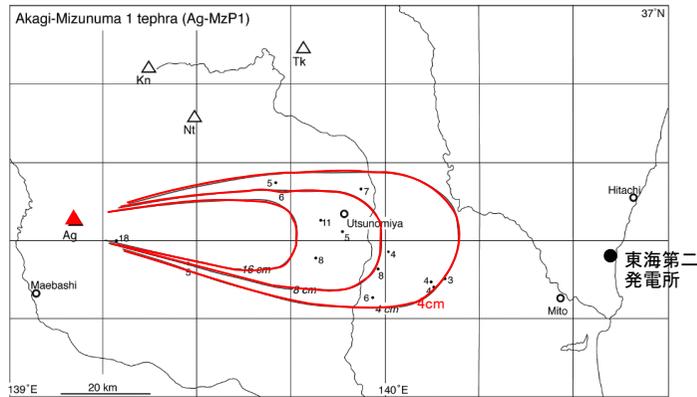


▲ : 給源火山
— (red) : 町田・新井(2011)
— (black) : 山元(2013a)

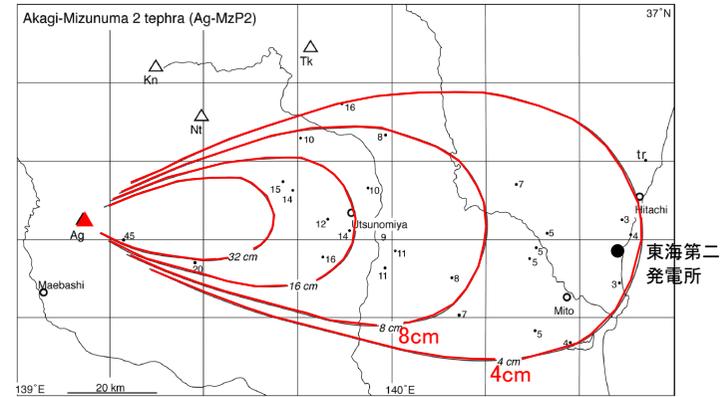
赤城鹿沼テフラの等層厚線図
(町田・新井(2011)と山元(2013a)の重ね合わせ)

敷地周辺で確認または分布が推定される降下火砕物③

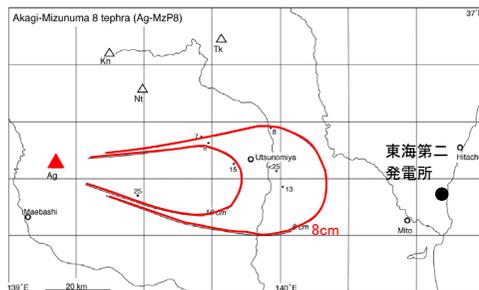
第432回審査会合
資料1 再掲



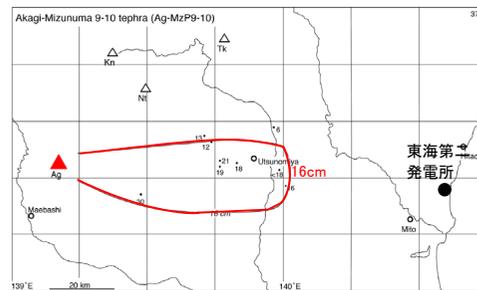
赤城水沼1テフラの等層厚線図(山元(2013a))



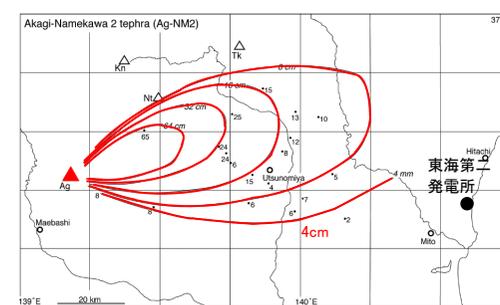
赤城水沼2テフラの等層厚線図(山元(2013a))



赤城水沼8テフラの等層厚線図(山元(2013a))



赤城水沼9-10テフラの等層厚線図(山元(2013a))

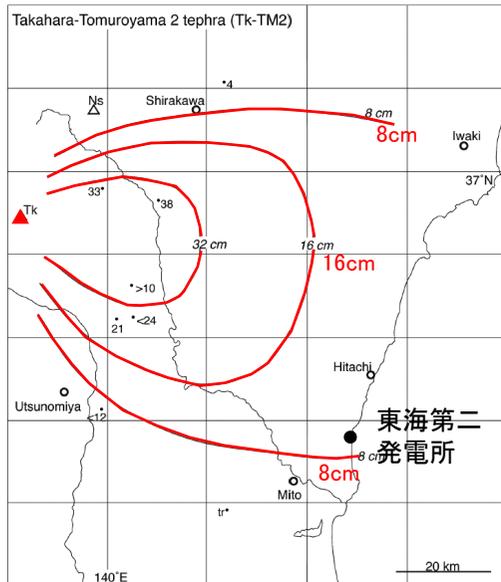


赤城行川2テフラの等層厚線図(山元(2013a))

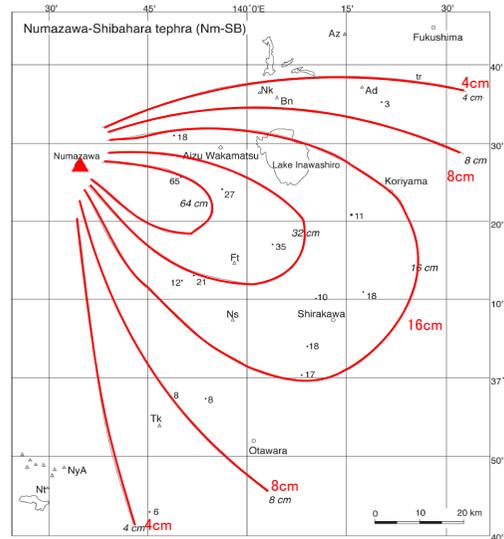
4. 原子力発電所に影響を及ぼし得る火山事象の抽出及びその影響評価 4.1 降下火砕物の影響評価(1)降下火砕物の分布状況 ①文献調査

敷地周辺で確認または分布が推定される降下火砕物⑤

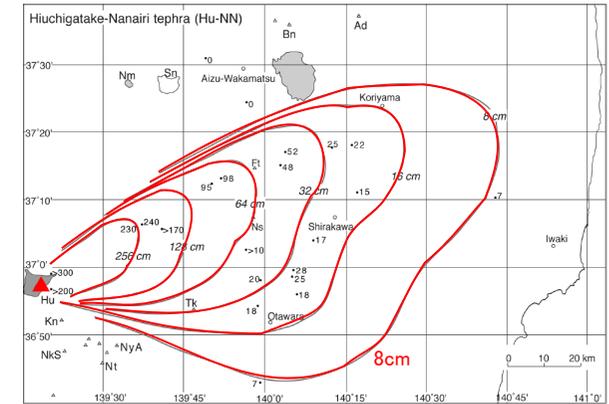
第432回審査会合
資料1 再掲



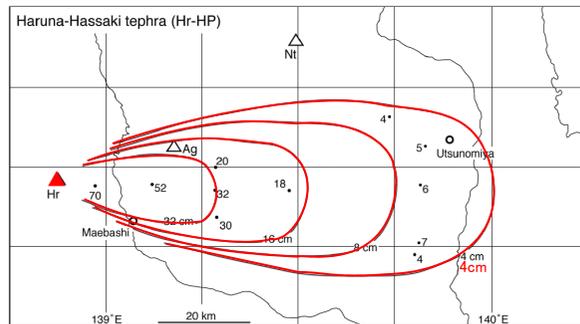
高原戸室山2テフラの等層厚線図(山元(2013a))



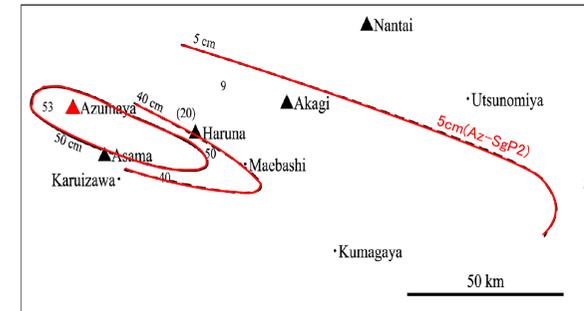
沼沢芝原テフラの等層厚線図(山元(2012))



燧ヶ岳七入テフラの等層厚線図(山元(2012))



榛名八崎テフラの等層厚線図(山元(2013a))



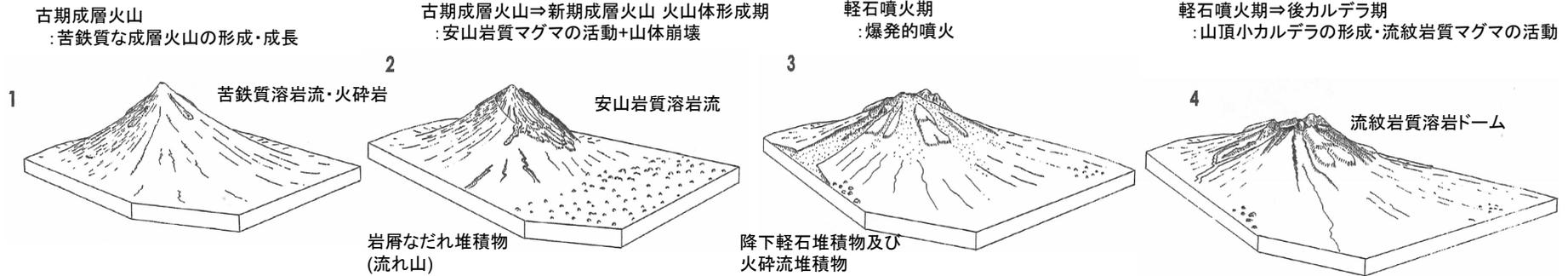
菅平第2軽石の等層厚線図(大石(2009))

赤城山の火山発達史概要

山元(2016), 高橋ほか(2012), 守屋(1979)に基づき, 赤城山の火山発達史を以下のとおり整理した。
 ・ 赤城鹿沼テフラが発生した活動期は現在の活動ステージである後カルデラ期であるとされている。

活動期	古期成層火山	—	新期成層火山		
			火山体形成期	軽石噴火期 (山頂カルデラの形成)	後カルデラ期
活動期間	50万年前～22万年前	22万年前	22万年前～15万年前	15万年前～4.4万年前	4.4万年前以降 (溶岩ドームはATに覆われる)
マグマ噴出量	約46 DRE km ³ (第四紀火山カタログ委員会編(1999)を引用し算出)	—	20 DRE km ³	約10 DRE km ³ (カルデラ形成時期(約6万年前の大胡軽石流噴火)を挟んでマグマ噴出率が急増)	0.5 DRE km ³
山体形成様式	成層火山の形成・成長	山体崩壊	成層火山体の再生	火山麓扇状地の拡大, 山頂カルデラの形成	中央火口丘の形成
主な噴火様式	溶岩・火砕岩の流出	(水蒸気噴火に起因)	溶岩・火砕岩の流出	プリニー式噴火 (降下軽石, 火砕流)	溶岩・火砕岩の流出
主な噴出物	荒山溶岩, 利平茶屋溶岩, 沼尾川溶岩 等	梨木岩層 なだれ	下田沢泥流, 花見ヶ原下火砕流, 榊形山溶岩 等	大胡軽石流・赤城水沼1降下軽石, 棚下軽石流・赤城水沼8降下軽石 等	赤城鹿沼テフラ 1251年噴火噴出物(?), 小沼溶岩, 小沼(降下)火山礫 等
マグマ組成	玄武岩～デイサイト	—	安山岩, 一部デイサイト	安山岩～デイサイト	デイサイト～流紋岩

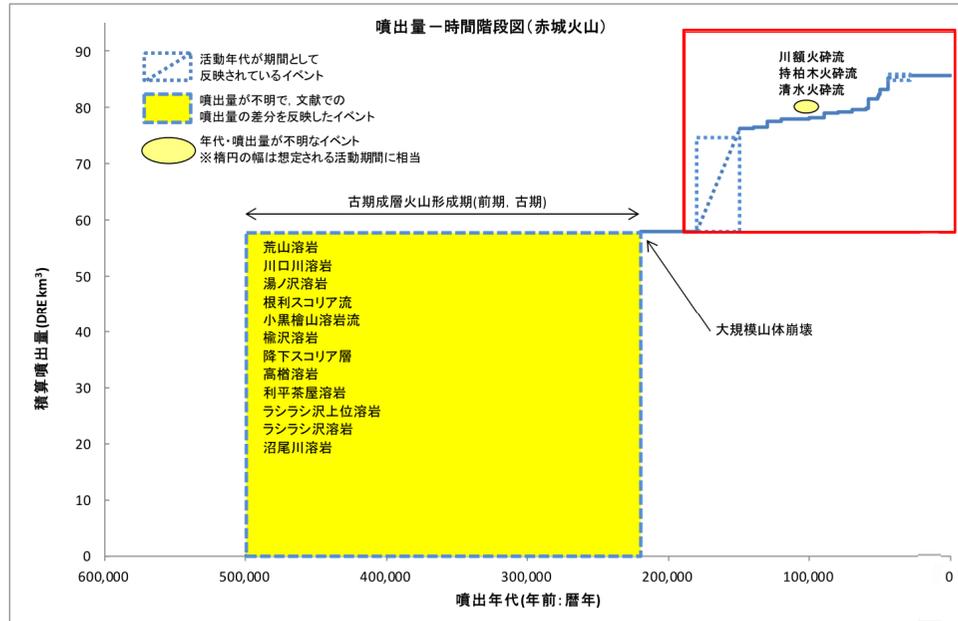
赤城山の火山発達史の概念図



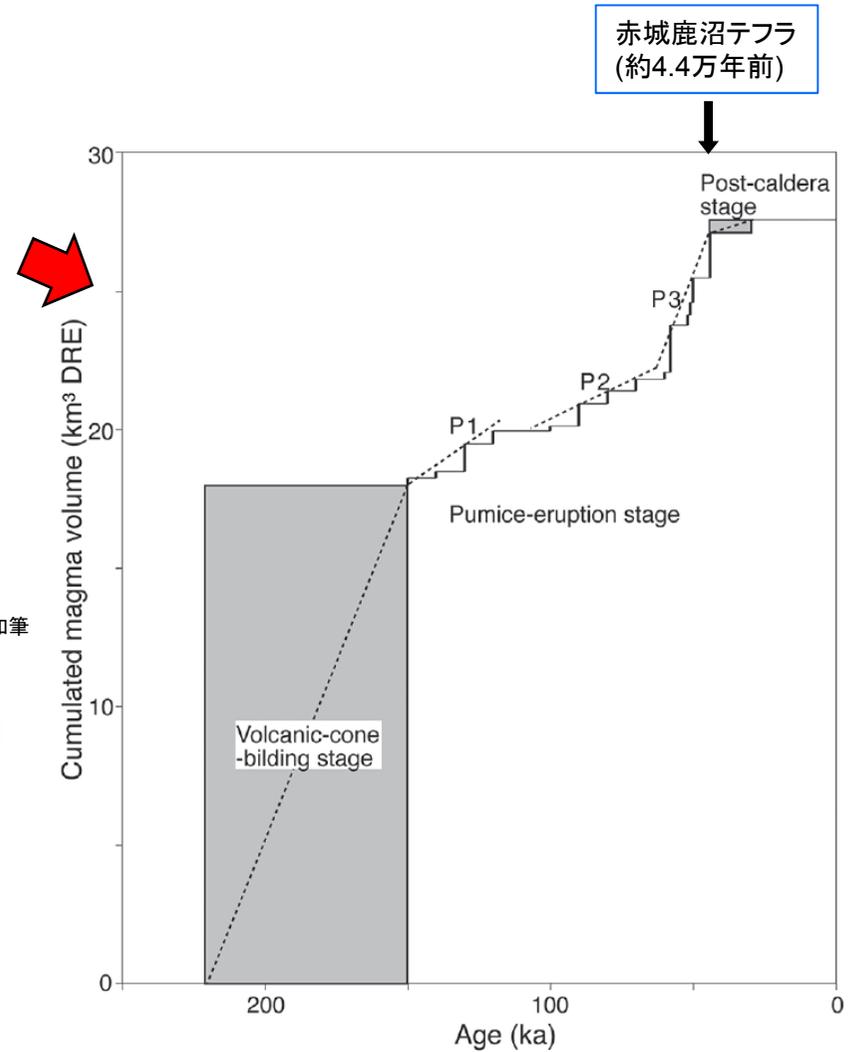
※活動期整理表は山元(2016), 高橋ほか(2012), 発達モデル図は守屋(1979)に基づき作成

赤城山の活動履歴・階段図

- 山元(2014c)及び山元(2016)による赤城山の詳細な階段ダイヤグラムは以下のとおり示されている。
- 現在の赤城山の活動ステージにおいて最大規模の降下火砕物噴火は赤城鹿沼テフラであり、その噴出量は2km³DRE(見かけ体積:5km³)である。



山元(2014c)に加筆



山元(2016)に加筆

赤城鹿沼テフラ

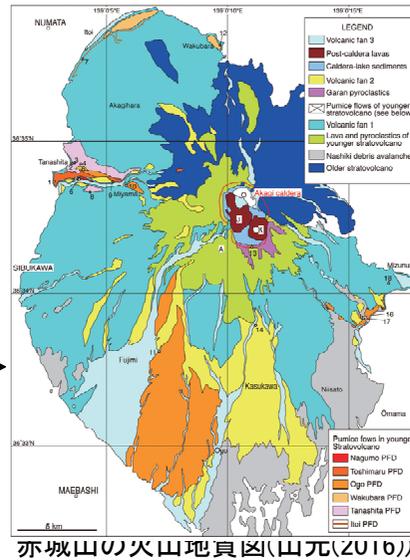
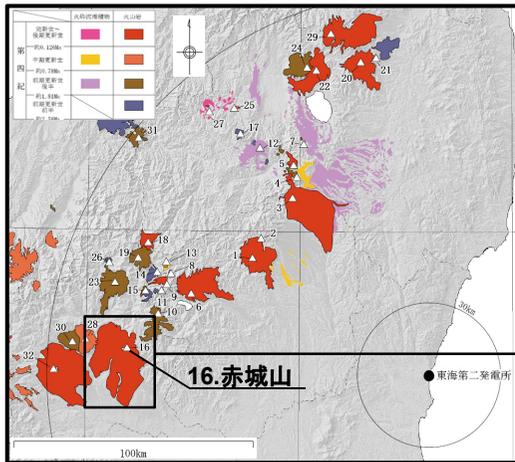
Unit	Dense-rock equivalent volume in km ³ (2300 kg/m ³)			
	Lava & pyroclastics	Pumice flow	Pumice fall	Total
Post-caldera lavas	5.E-01			5.E-01
Ag-KP			2.E+00	2.E+00
Garan Pyroclastics	6.E-01			6.E-01
Ag-UP			2.E-01	2.E-01
Ag-NM1 + Nagumo PFD		7.E-03	4.E-01	4.E-01
Ag-NM2 + Toshimaru PFD		1.E-01	3.E-01	4.E-01
Ag-MzP1 + Ogo PFD		2.E+00	1.E-01	2.E+00
Ag-MzP2			3.E-01	3.E-01
Ag-MzP3			4.E-01	4.E-01
Ag-MzP4 + Wakubara PFD		4.E-01	5.E-02	5.E-01
Ag-MzP5			8.E-01	8.E-01
Ag-MzP6			2.E-01	2.E-01
Ag-MzP7 + Fujiki PFD		6.E-02	4.E-01	5.E-01
Ag-MzP8 + Tanashita PFD		8.E-01	2.E-01	1.E+00
Ag-MzP9-10 + Fudo PFD		1.E-02	2.E-01	2.E-01
Ag-OrP + Itoi PFD		1.E-01	1.E-01	2.E-01
Lava & pyroclastics of younger stratovolcano	2.E+01			2.E+01

Table 2. Dense-rock equivalent volumes of the eruption units from younger Akagi Volcano. Data for the pumice falls are taken from Yamamoto (2012, 2013a).

山元(2016)に加筆

赤城山の最新噴火に関する知見

- 赤城山の最新活動に関する知見を以下のとおり整理した。最新の歴史噴火は1251年噴火であるが、これに関し次のように見解が分かれている。
- 気象庁編(2013)によれば、赤城山における有史以降の火山活動は1251年噴火のみ(堆積物未確認)とされている。
- 早川(1999)によれば、1251年噴火に対応する堆積物は確認されておらず、1251年噴火の根拠とされる吾妻鏡の記録は、噴火ではなく山火事の記録である可能性が高いとされる。
- 一方で、守屋(1993)によれば、1251年の水蒸気噴火による堆積物の可能性がある火山灰層が認められ、及川(2012)等では同時期の噴火を記録した別の歴史記録も報告されている。



赤城山の火山地質図(山元(2016))

赤城山の有史以降の火山活動履歴

噴火年	噴出物名	噴火様式	降下火砕物 体積; 見かけ (DRE)	総体積; 見かけ (DRE)	規模 (VEI)
1251年	詳細不明	詳細不明	不明	不明	不明

参考文献:
気象庁編(2013), 産業技術総合研究所地質調査総合センター編(2014)

※気象庁編(2013)による記載

- 1251(建長3)年5月18日 噴火?
- 噴出物は発見されてない。
- 噴火の根拠となる記録(吾妻鏡)は、山火事の記録であるという主張がある。
- 同時期の噴火を記録していると考えられる別の歴史記録も報告されている。

	1251年噴火の存在を肯定する見解	1251年噴火の存在を否定する見解
地質学的情報に基づく見解	<p>○守屋(1993)</p> <p>・地蔵岳東南麓で、地表より10~15cm下、榛名ニッ岳伊香保テフラの上数十cmの層準に火山灰層を発見</p> <p>⇒1251年の水蒸気噴火による堆積物の可能性がある。</p>	<p>○早川(1999)</p> <p>・守屋(1993)による1251年噴火堆積物は、噴火堆積物ではなくレス堆積物である。</p> <p>・山頂火口内でもっとも新しい噴火地形である血の池(約2万4000年前)は、6世紀の榛名ニッ岳伊香保テフラに覆われる。</p> <p>⇒1251年噴火に対応する堆積物は確認されていない。</p>
歴史史料に基づく見解	<p>○及川(2012)</p> <p>峰岸(2003)により、「吾妻鏡」以外の史料で、更に具体的な噴火記録の存在が明かされた。</p> <p>-峰岸(2003)-</p> <p>「建長三年辛亥当於呂嶽、春ヨリ焼ケ始メ、四月十九日焼出、石砂ヲラス事夥シケレ共、当所ハ無難ナリ、今赤石平是ナリ」</p> <p>(訳)1251年春ころから噴火を開始し、5月11日に噴火が激しくなり、粗粒な降下火砕物を噴出したが、神社は無事であった。</p> <p>⇒発見された記録は、赤城神社において代々書き続けられた年代記であり、噴火と同時代に記録された史料に準ずると考えられる。また、記述も具体的に富み、確たる噴火記録と判断される。</p>	<p>○早川(1999)</p> <p>・気象庁が赤城火山を活火山に指定している根拠は、史料『吾妻鏡』の建長三年(1251年)条にある「赤木嶽焼」の記述である。</p> <p>・本記事は四月十九日(5月11日)のものだが、一年で最も乾燥する時期である。</p> <p>・建長三年四月の現象には先例があったと記されており、当時の人々の記憶に残って伝承されるほどの頻度で噴火が繰り返されていたとは、その後の噴火が皆無であることからみて考えにくい。</p> <p>⇒1251年の記事は赤城火山の噴火を記述したものではなく、山火事の記述である可能性が高い。</p>

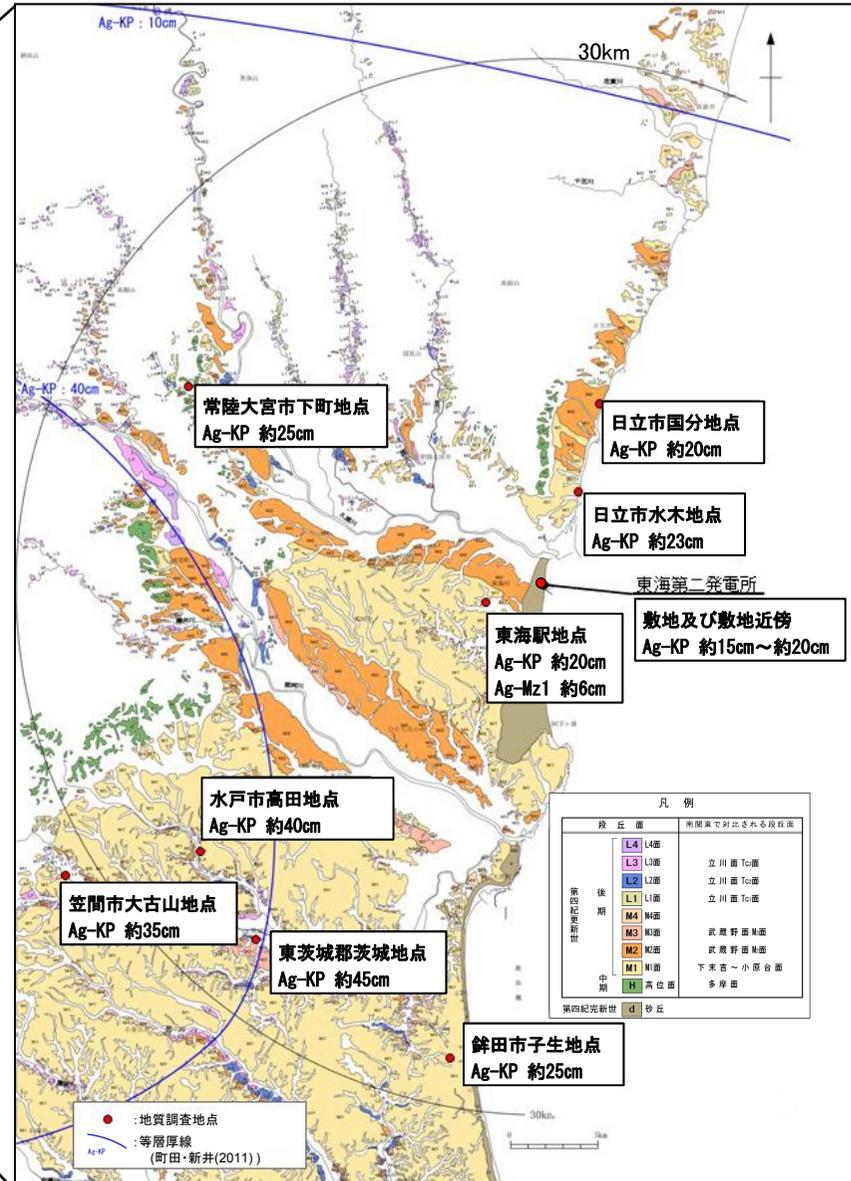
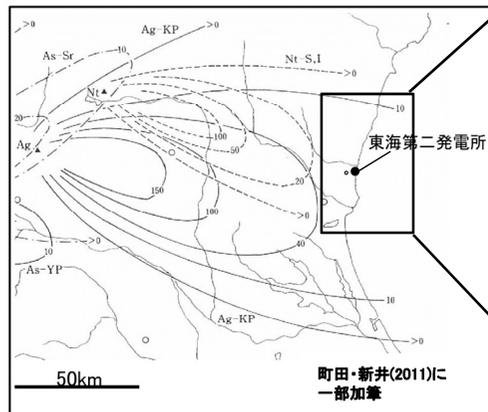
気象庁編(2013), 及川(2012), 峰岸(2003), 早川(1999), 守屋(1993), 産業技術総合研究所地質調査総合センター編(2014)に基づき整理

4. 原子力発電所に影響を及ぼし得る火山事象の抽出及びその影響評価 4.1 降下火砕物の影響評価(1)降下火砕物の分布状況 ②地質調査

敷地周辺の地質調査結果(概要)

第432回審査会合
資料1 再掲

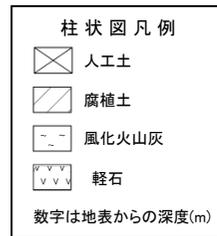
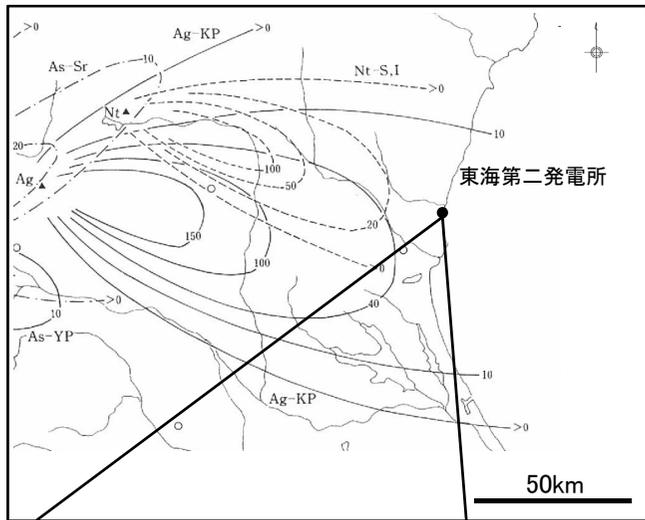
- 敷地周辺(敷地及び敷地近傍を含む)の降下火砕物の分布を把握するため、地質調査を実施した。
- 調査の結果、赤城鹿沼テフラの分布状況は文献調査結果と整合しており、敷地及び敷地近傍で約15cm～約20cmであった。



敷地及び敷地近傍の赤城鹿沼テフラの産状①

第432回審査会合
資料1 再掲

- 敷地及び敷地近傍のボーリング調査において、風化火山灰層中に厚さ約15cm及び20cmの黄白色の軽石層が認められ、火山灰分析の結果、赤城鹿沼テフラ(Ag-KP)に対比される。



試料採取位置

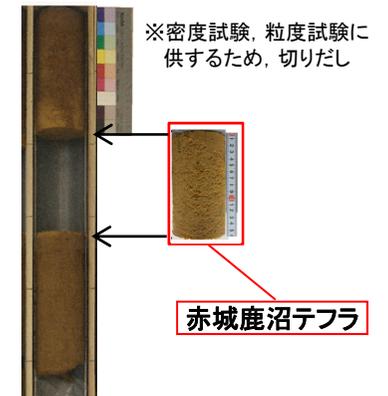
町田・新井(2011)に
一部加筆

Ag-KP
(44ka)
約15cm

T-①孔

深度(m)	柱状図	区分	記 事	備考
0.00	X	人工土	0.00m~0.45m ・粘土混じり砂、碎石が不均質に混ざる。	深度0.00m~2.00m間は、ハンドサンダーによる試験
0.45	diagonal lines	腐植土	0.45m~0.90m ・黒褐色を呈する、クロボク。	
0.90	wavy lines	風化火山灰	0.90m~2.15m ・褐色を呈する砂質粘土、いわゆる関東ローム。	
2.00	V	軽石	2.00m~2.15m間、黄白色の軽石がわずかに散在。	深度2.00m~2.50m間は、機械ボーリングによる掘削
2.15	V	軽石	2.15m~2.30m ・黄白色の軽石からなる。	
2.30	V	軽石	2.30m~2.50m ・褐色を呈する、砂質粘土、いわゆる関東ローム。	

ボーリング柱状図



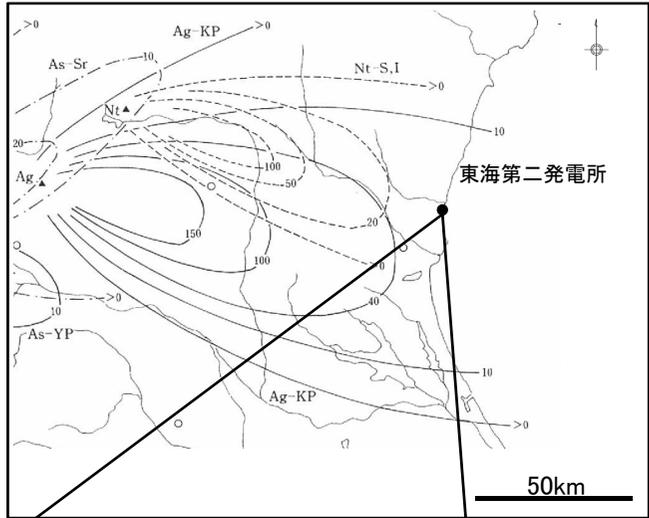
火山灰分析結果

	重鉱物組成※	普通角閃石の屈折率	斜方輝石の屈折率
軽石(T-①孔)	ho, opx, (cpx)	1.671-1.679	1.707-1.715
Ag-KP(町田・新井(2011))	ho, opx, (cpx)	1.671-1.678	1.707-1.710

ho: 普通角閃石, opx: 斜方輝石, cpx: 単斜輝石 ※含有量が多いものから順に記載 ()内は含有量が僅少なものと

4. 原子力発電所に影響を及ぼし得る火山事象の抽出及びその影響評価 4.1 降下火砕物の影響評価(1)降下火砕物の分布状況 ②地質調査
 敷地及び敷地近傍の赤城鹿沼テフラの産状①

第432回審査会合
資料1 再掲



町田・新井(2011)に
一部加筆

柱状図凡例

	腐植土
	風化火山灰
	軽石
	砂礫(段丘堆積物)

数字は地表からの深度(m)

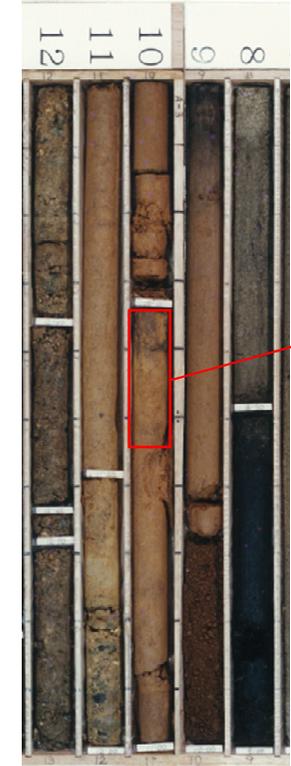
Ag-KP
(44ka)
約20cm

A-3孔

深度(m)	柱状図	層相	鉱物組み合わせ
8.50		腐植土(黒ボク)	
9.00		風化火山灰層	opx, qt, cpx, ho
9.20			ho, opx, cpx, qt
10.45		深度10.45m付近 ・層厚20cm程度の黄白色軽石	ho, opx, cpx, qt, ol
10.80			opx, ho, cpx, qt, ol
11.09		深度11.10m付近 ・微量の白色軽石を含む※	ho, opx, cpx, qt, ol
11.40			
11.75		粘土質砂礫 (中位段丘堆積物)	

※火山灰分析(鉱物組成分析)の結果。
赤城水沼1テフラ(Ag-Mz1)に対比される。

ボーリング柱状図



赤城鹿沼テフラ

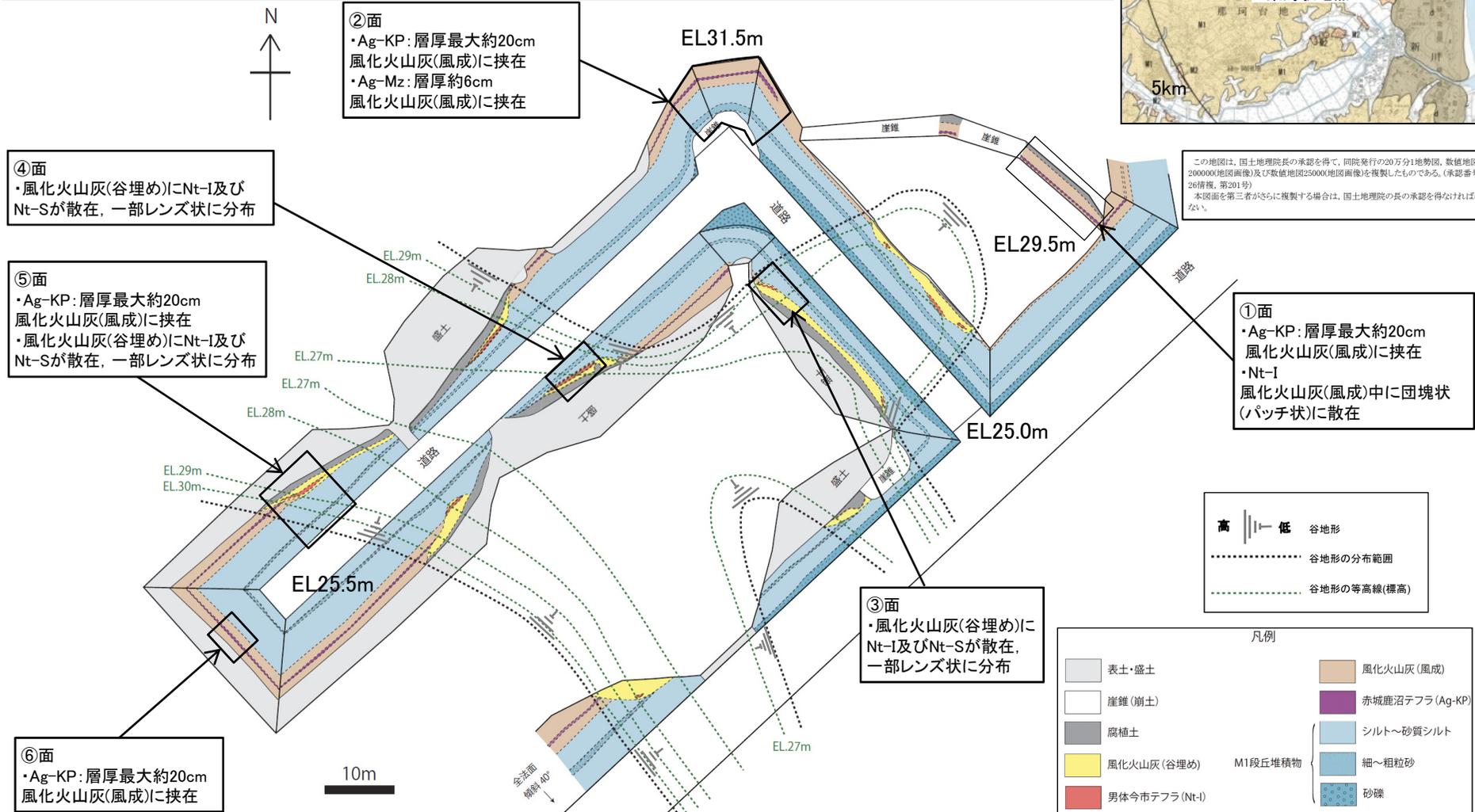
敷地近傍の赤城鹿沼テフラが確認される露頭(東海駅地点: 全体概要)

コメントNo.3

- 敷地から西方約3kmの主に海成段丘からなる那珂台地に位置する東海駅地点についてテフラを含む地層の立体的な堆積状況を確認した。
- 本露頭ではシルト～砂礫からなる段丘堆積物の上位に赤城鹿沼テフラ(Ag-KP), 赤城水沼1テフラ(Ag-Mz1)男体今市(Nt-I)等の降下火砕物を挟在する風化火山灰, 腐植土がほぼ水平に分布する。
- また, 露頭の一部には段丘堆積物を削り込む谷が認められ, この谷部を埋めるように, 男体今市等をレンズ状に含む風化火山灰(谷埋め堆積物)とそれをさらに削り込んで分布する腐植土が認められる。
- 上記堆積状況をふまえて降下火砕物の層厚を確認した結果, Ag-KPが最も厚く, その層厚は最大約20cmであった。



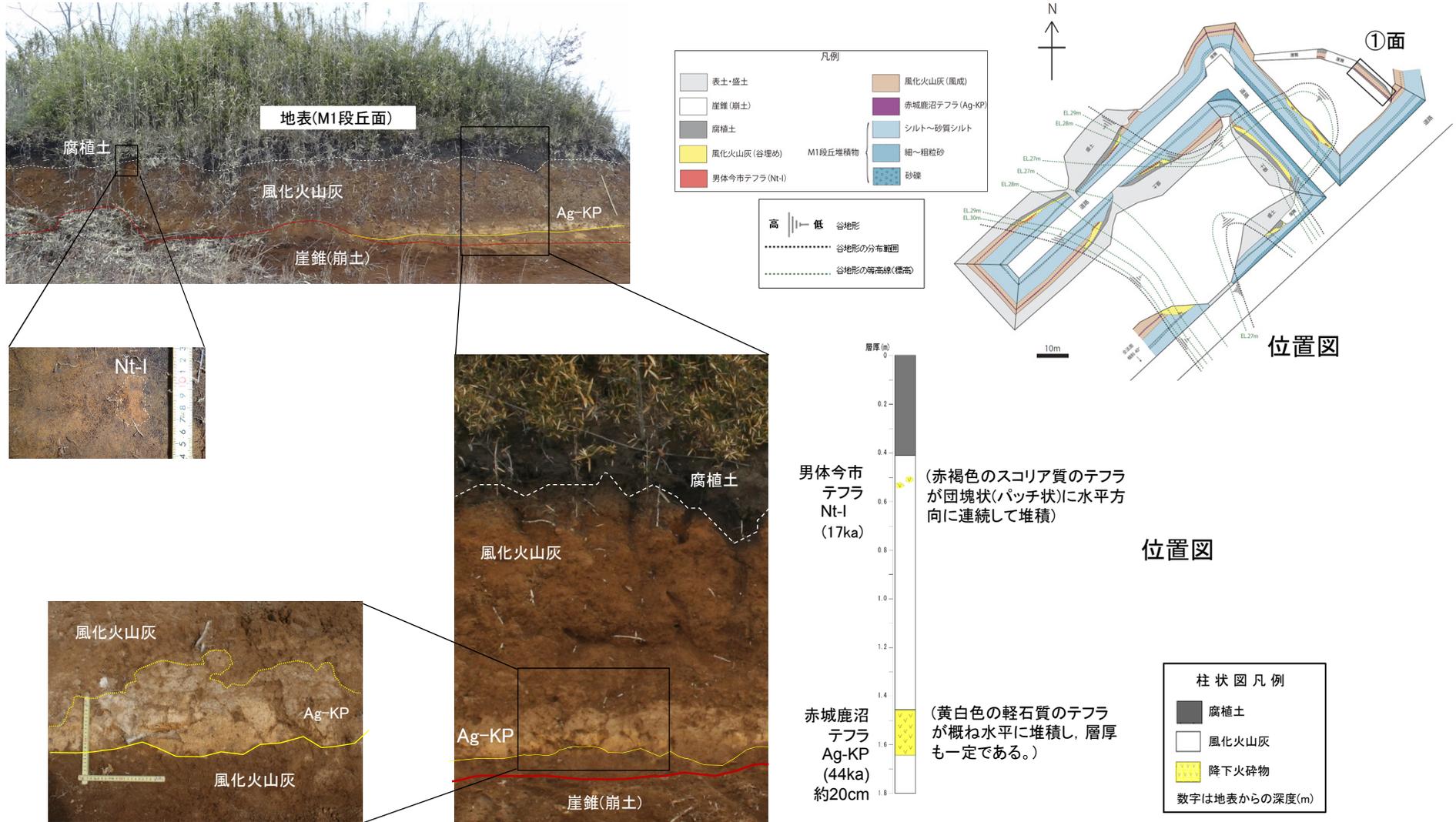
この地図は, 国土地理院長の承認を得て, 同院発行の20万分1地勢図, 数値地図200000(地図画像)及び数値地図250000(地図画像)を複製したものである。(承認番号 平26青発, 第201号)
本図面を第三者がさらに複製する場合は, 国土地理院の長の承認を得なければならない。



敷地近傍の赤城鹿沼テフラが確認される露頭(東海駅地点①面)

東海駅地点①面の調査結果は以下に示すとおり。

- 風化火山灰層中に厚さ約20cmの黄白色で軽石質の降下火砕物がほぼ水平に認められる。降下火砕物の下限は明瞭な境界をなし、上部は風化火山灰層に漸移しており、厚さはほぼ一定であり、浸食を受けた形跡は認められない。火山灰分析の結果、赤城鹿沼テフラ(Ag-KP)に対比される。
- また、腐植土直下の風化火山灰層の上部に赤褐色のスコリア質の降下火砕物が団塊状(パッチ状)ではあるが水平に連続して分布しており、火山灰分析の結果、男体今市テフラ(Nt-I)に対比される。

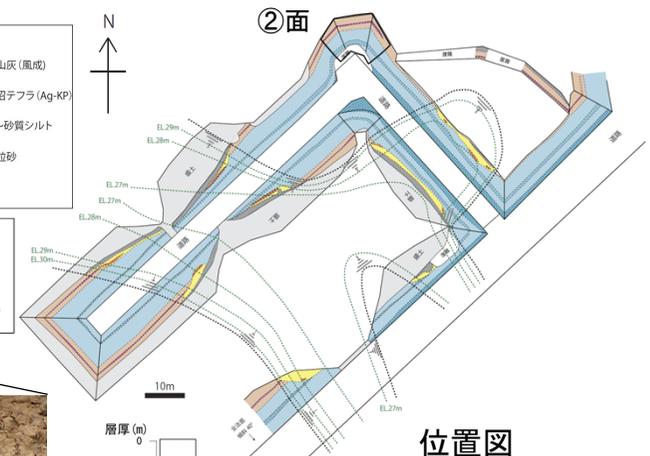
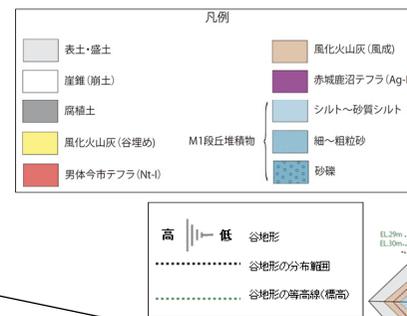


敷地近傍の赤城鹿沼テフラが確認される露頭(東海駅地点②面)

第432回審査会合
資料1 修正

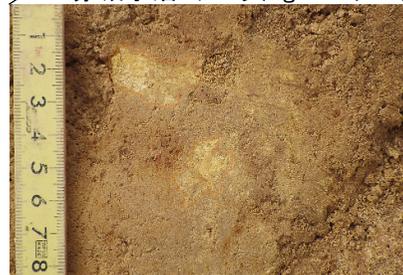
東海駅地点②面の調査結果は以下に示すとおり。

- 下位からシルト(段丘堆積物), 風化火山灰がほぼ水平に分布している。
- 風化火山灰層の上部に厚さ約20cmの黄白色で軽石質の降下火砕物がほぼ水平に認められる。降下火砕物の下限は明瞭な境界をなし, 上部は風化火山灰層に漸移しており, 厚さはほぼ一定であり, 浸食を受けた形跡は認められない。火山灰分析の結果, 赤城鹿沼テフラ(Ag-KP)に対比される。
- 風化火山灰層の下部に厚さ約6cmで黄白色で軽石質の降下火砕物が層をなしてほぼ水平に分布しているのが認められ, 火山灰分析の結果, 赤城水沼1テフラ(Ag-Mz1)に対比される。

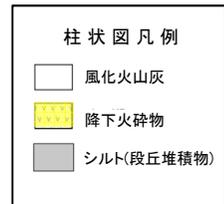
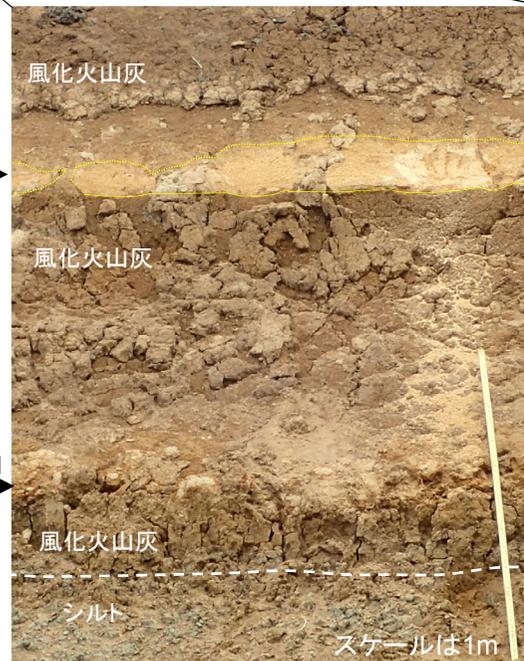


位置図

赤城水沼1テフラ(Ag-Mz1)



Ag-KP



Ag-KP 火山灰分析結果

	重鉱物組成*	斜方輝石の屈折率	角閃石の屈折率
軽石 (東海駅地点②面)	ho, opx	1.705-1.713	1.671-1.686
Ag-KP (町田・新井(2011))	ho, opx, (cpx)	1.707-1.710	1.671-1.678

Ag-Mz1

	重鉱物組成*	斜方輝石の屈折率
軽石 (東海駅地点②面)	opx, cpx, ho	1.702-1.714
Ag-Mz1 (町田・新井(2011))	opx, cpx, (ho)	1.702-1.711

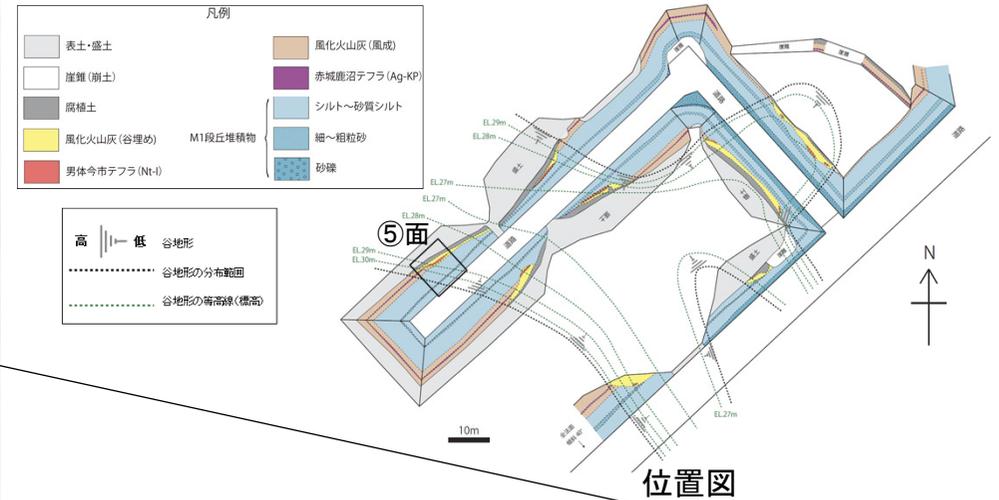
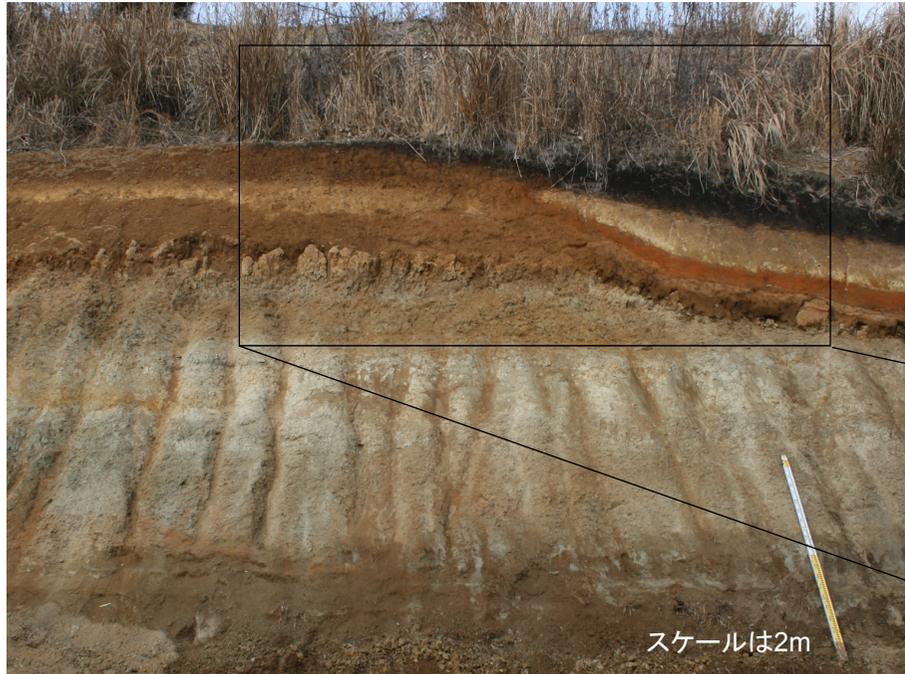
ho: 普通角閃石, opx: 斜方輝石, cpx: 単斜輝石, ※含有量が多いものから順に記載, ()内は含有量が僅少ななもの

敷地近傍の赤城鹿沼テフラが確認される露頭(東海駅地点⑤面)

コメントNo.3

東海駅地点⑤面の調査結果は以下に示すとおり。

- ・ 観察面北東では段丘堆積物及び赤城鹿沼テフラ(Ag-KP)を含む風化火山灰層を削り込んだ谷が分布し、その谷を埋める堆積物を構成する風化火山灰層中に男体今市テフラ(Nt-I)と男体七本桜テフラ(Nt-S)がレンズ状に含まれている。
- ・ Nt-I、及びNt-Sは水平方向に連続性に乏しく、層厚変化が著しい。また、Nt-I及びNt-Sとこれらを覆う風化火山灰の境界は不明瞭で、この風化火山灰中にはNt-I、Nt-S起源の軽石が多く含まれることから、Nt-I、Nt-Sは二次的に堆積したものと考えられる。
- ・ 観察面南西側ではAg-KPは概ね水平に分布し、下限は明瞭な境界をなし、上部は風化火山灰層に漸移する。



Nt-S		火山灰分析結果		
	重鉱物組成*	斜方輝石の屈折率	角閃石の屈折率	
軽石 (東海駅地点⑤面)	opx, cpx, (ho)	1.709-1.715	1.671-1.682	
Nt-S (町田・新井(2011))	opx, cpx, (ho)	1.710-1.713	1.670-1.675	

Nt-I		火山灰分析結果		
	重鉱物組成*	斜方輝石の屈折率	角閃石の屈折率	
軽石 (東海駅地点⑤面)	cpx, opx	1.706-1.713	-	
Nt-I (町田・新井(2011))	cpx, opx	1.701-1.710	-	



ho: 普通角閃石, opx: 斜方輝石, cpx: 単斜輝石,
 ※含有量が多いものから順に記載()内は含有量が僅少な

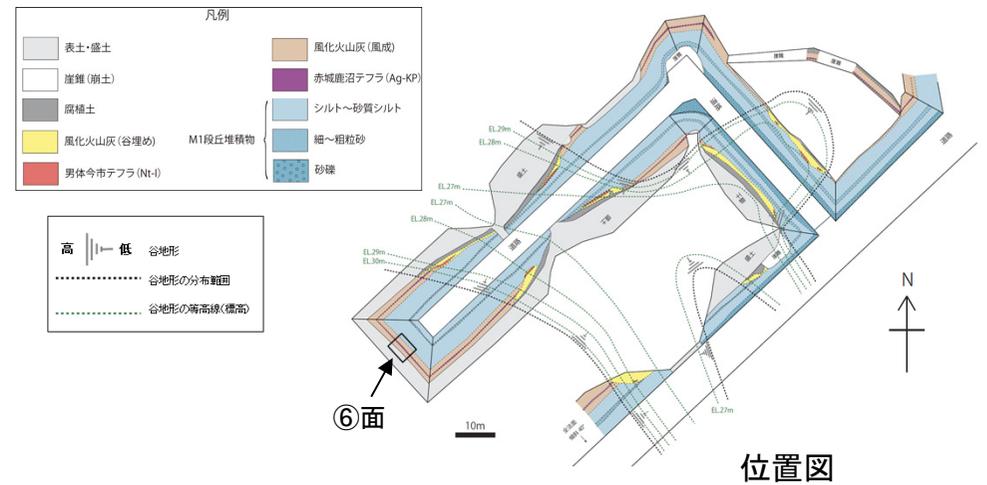
火山灰分析試料採取位置

4. 原子力発電所に影響を及ぼし得る火山事象の抽出及びその影響評価 4.1 降下火砕物の影響評価(1)降下火砕物の分布状況 ②地質調査
敷地近傍の赤城鹿沼テフラが確認される露頭(東海駅地点⑥面)

コメントNo.3

東海駅地点⑥面の調査結果は以下に示すとおり。

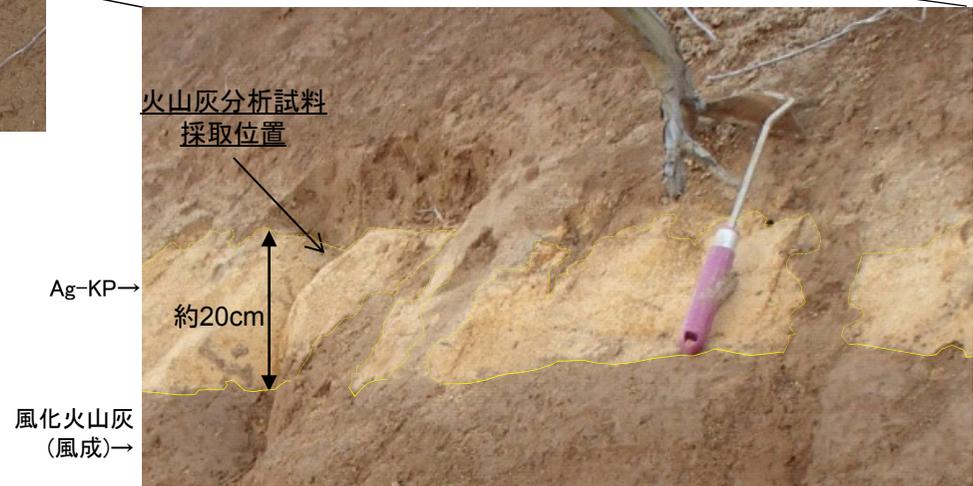
- 下位からシルト(段丘堆積物), 風化火山灰が分布しており, 風化火山灰中に赤城鹿沼テフラ(Ag-KP)が認められる。
- 降下火砕物の下限は明瞭な境界をなし, 上部は風化火山灰層に漸移しており, 厚さはほぼ一定であり, 浸食を受けた形跡は認められず, その最大層厚は約20cmである。



Ag-KP 火山灰分析結果

	重鉱物組成*	斜方輝石の屈折率	角閃石の屈折率
軽石 (東海駅地点⑥面)	ho, opx, (cpx)	1.703-1.715	1.670-1.685
Ag-KP (町田・新井(2011))	ho, opx, (cpx)	1.707-1.710	1.671-1.678

ho: 普通角閃石, opx: 斜方輝石, cpx: 単斜輝石,
 ※含有量が多いものから順に記載 ()内は含有量が僅少ななもの

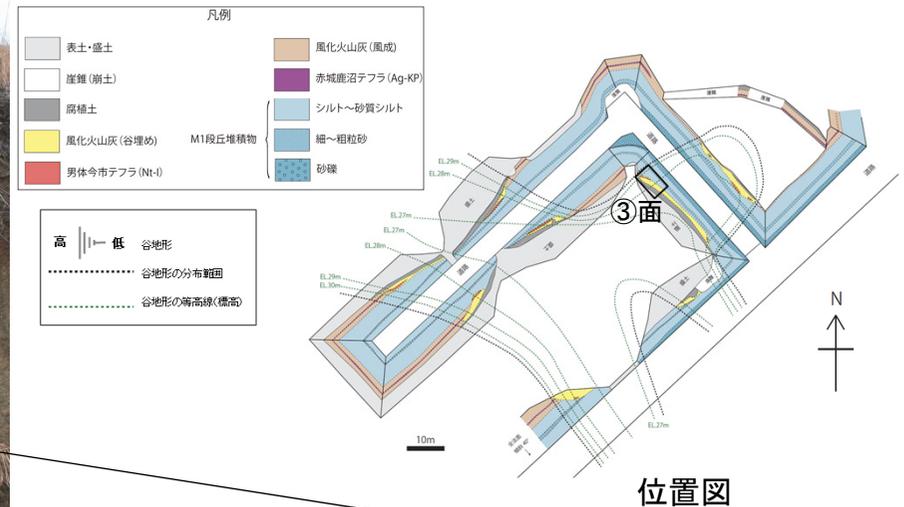


敷地近傍の赤城鹿沼テフラが確認される露頭(東海駅地点③面)

コメントNo.3

東海駅地点③面の調査結果は以下に示すとおり。

- ・ 観察面南東では赤城鹿沼テフラを含む風化火山灰層を削り込んだ谷が分布し、その谷を埋める堆積物を構成する風化火山灰層中に男体今市テフラ(Nt-I)と男体七本桜テフラ(Nt-S)がレンズ状に含まれている。
- ・ Nt-I及びNt-Sは水平方向に連続性に乏しく、層厚変化が著しい。また、Nt-I及びNt-Sとこれらを覆う風化火山灰の境界は一般に不明瞭で、この風化火山灰中にはNt-I及びNt-S起源の軽石が多く含まれることから、Nt-I及びNt-Sは二次的に堆積したものと考えられる。



Nt-S 火山灰分析結果

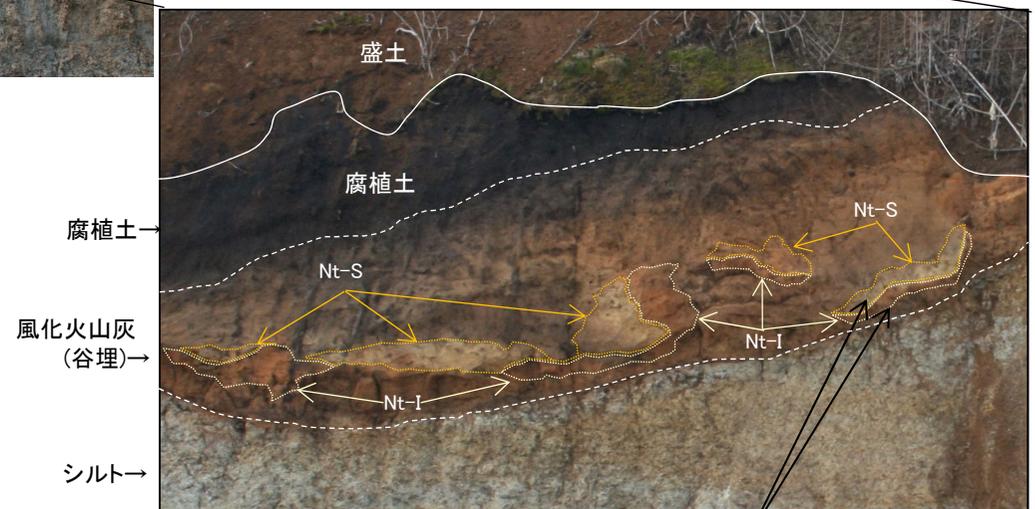
	重鉱物組成*	斜方輝石の屈折率	角閃石の屈折率
軽石 (東海駅地点③面)	opx, cpx, (ho)	1.710-1.714	1.672-1.678
Nt-S (町田・新井(2011))	opx, cpx, (ho)	1.710-1.713	1.670-1.675

Nt-I

	重鉱物組成*	斜方輝石の屈折率	角閃石の屈折率
軽石 (東海駅地点③面)	cpx, opx	1.700-1.714	—
Nt-I (町田・新井(2011))	cpx, opx	1.701-1.710	—

ho:普通角閃石, opx:斜方輝石, cpx:単斜輝石

*含有量が多いものから順に記載()内は含有量が僅少ななもの



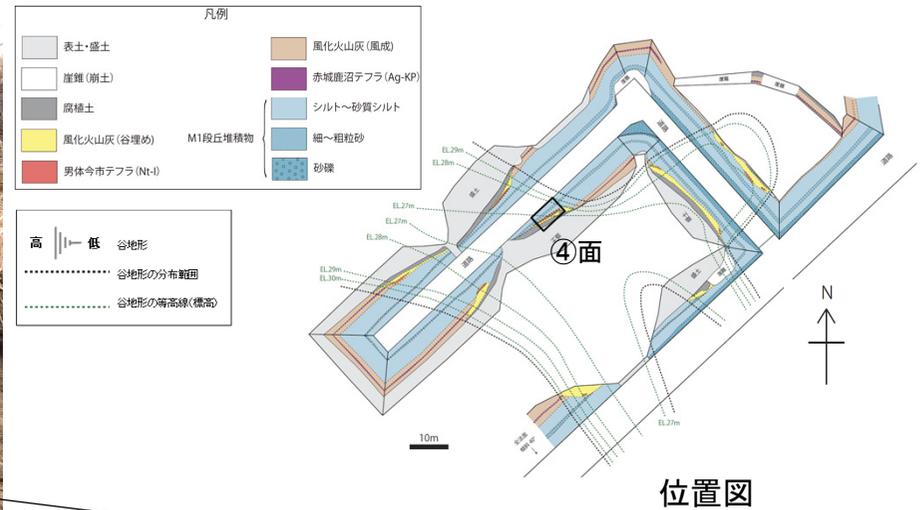
火山灰分析試料採取位置

4. 原子力発電所に影響を及ぼし得る火山事象の抽出及びその影響評価 4.1 降下火砕物の影響評価(1)降下火砕物の分布状況 ②地質調査
敷地近傍の赤城鹿沼テフラが確認される露頭(東海駅地点④面)

コメントNo.3

東海駅地点④面の調査結果は以下に示すとおり。なお、観察面の一部に段丘堆積物及び赤城鹿沼テフラを含む風化火山灰層を削り込んだ谷が分布する。

- 観察面北西から南西に向かって段丘堆積物及び赤城鹿沼テフラを含む風化火山灰層を削り込んだ谷が分布し、その谷を埋める堆積物を構成する風化火山灰層中に男体今市テフラ(Nt-I)が、その上位には男体七本桜テフラ(Nt-S)が分布している。
- Nt-I, Nt-Sは水平方向に連続性に乏しく、層厚変化が著しいまた、Nt-I及びNt-Sとこれらを覆う風化火山灰の境界は一般に不明瞭で、この風化火山灰中にはNt-I, Nt-S起源の軽石が多く含まれることから、Nt-I, Nt-Sは2次的に堆積したものと考えられる。



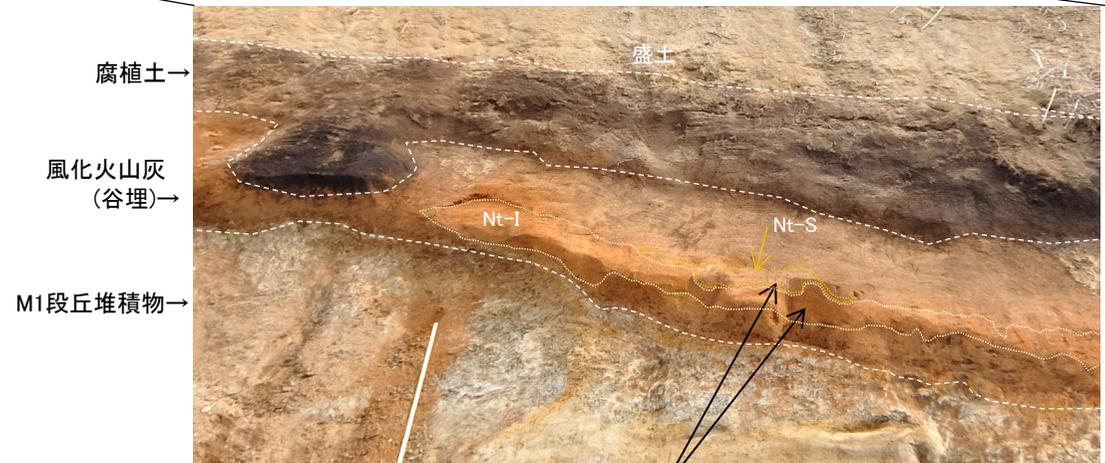
Nt-S 火山灰分析結果

	重鉱物組成*	斜方輝石の屈折率	角閃石の屈折率
軽石 (東海駅地点④面)	opx, cpx, (ho)	1.705-1.718	1.672-1.682
Nt-S (町田・新井(2011))	opx, cpx, (ho)	1.710-1.713	1.670-1.675

Nt-I

	重鉱物組成*	斜方輝石の屈折率	角閃石の屈折率
軽石 (東海駅地点④面)	cpx, opx	1.705-1.714	-
Nt-I (町田・新井(2011))	cpx, opx	1.701-1.710	-

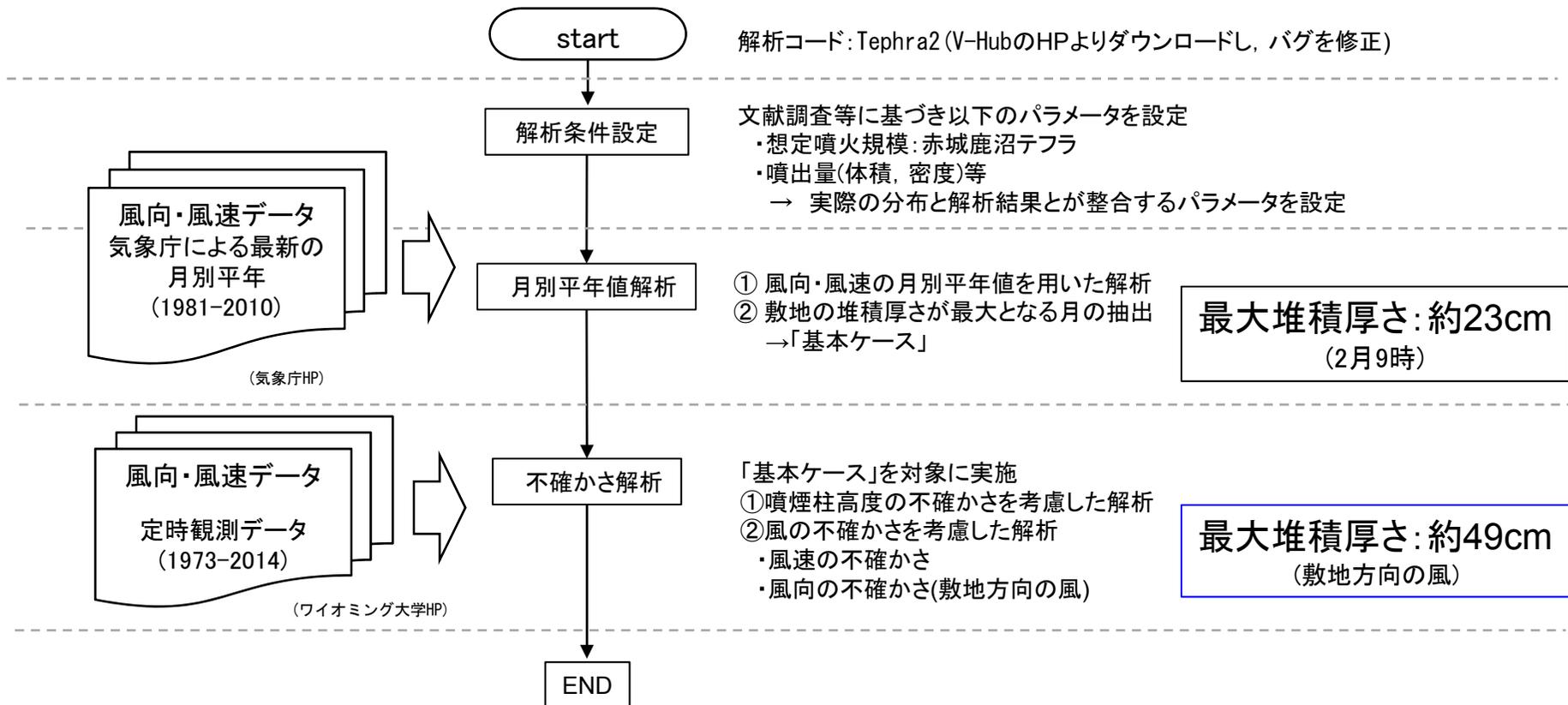
ho: 普通角閃石, opx: 斜方輝石, cpx: 単斜輝石,
 ※含有量が多いものから順に記載 ()内は含有量が僅少ななもの



火山灰分析試料採取位置

(2) 降下火砕物シミュレーション(概要)

- 降下火砕物の数値シミュレーションは火山影響評価ガイドにおいては、原子力発電所内及びその周辺敷地において降下火砕物の堆積が観測されない場合の堆積物量を設定する方法の一つとされている。
- 前回会合では、文献調査及び地質調査から敷地内及びその周辺に過去降灰した層厚を確認し、その妥当性の確認としてシミュレーションによる再現解析(噴出量25km³を設定)を実施していた。
- 以上に対し、前回会合での指摘を踏まえ、噴出量については最新の知見である山元(2016)及び山元(2013a)に示される5km³の算定方法について詳細検討した結果、赤城鹿沼テフラに対する適用の妥当性が確認されたことから、今回5km³に見直した上で、同等規模の噴火が発生した場合の現在の気象条件における不確かさを考慮した敷地での層厚を確認する。
- 解析条件については、文献調査等に基づき、実際の分布と解析結果とが整合するパラメータを設定した。
- 不確かさを考慮したシミュレーションを実施した結果、敷地での最大堆積厚さは約49cmであった。



解析コード「Tephra2」の概要

- 「Tephra2」は移流拡散モデルを用いたシミュレーションプログラムであり、国の火山防災マップ作成指針※等で使用されている。
- 移流拡散モデルとは粒子(降下火砕物)の挙動を、重力による落下、風による移動(移流)及び空中で広がり散らばる現象(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。
- 粒子(降下火砕物)は火口上に仮定された均質な噴煙柱から放出される。
- なお、日本火山学会2016年秋季大会(2016年10月13日~15日)のポスターセッションにおいて、大阪大学の佐伯准教授が「Tephra2」の解析コードの粒子の落下速度の式に一部バグがあることを発表。このことを踏まえ、このバグを修正し解析を行った。(詳細は参考8参照)

※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)

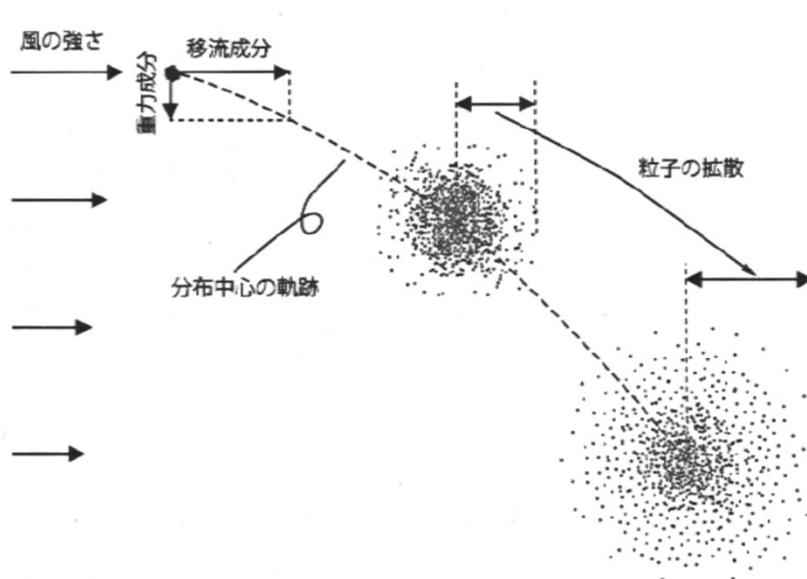


図1 移流拡散モデルの概念図

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。

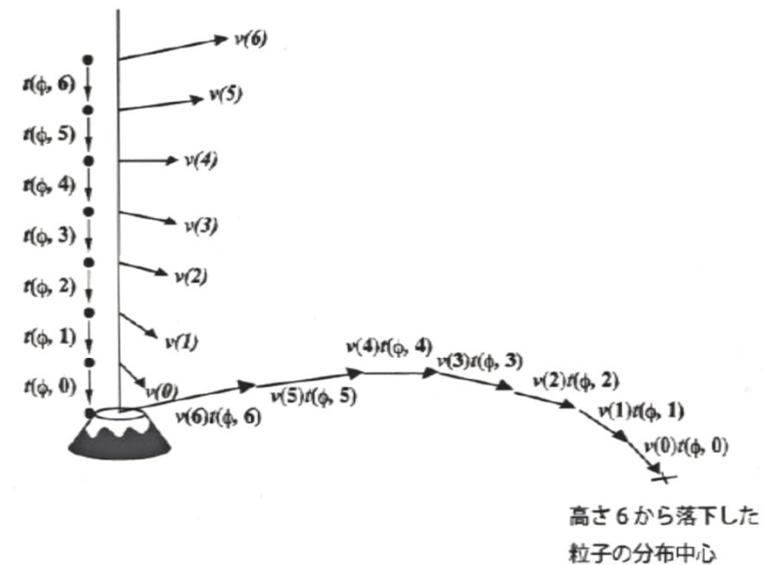


図3 移流の概念図

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)

解析条件設定

降下火砕物シミュレーションによる再現解析に用いる解析条件を以下のとおり設定した。

- 噴出量については複数の知見が認められ、従来の解析では見かけ体積25km³を用いていたが、前回会合の指摘を踏まえ最新の知見である山元(2016)及び山元(2013a)に示される5km³の算定方法について詳細検討した結果、赤城鹿沼テフラに対する適用の妥当性が確認されたことから、今回5km³に見直した。検討内容の詳細については次頁に示す。
- その他のパラメータについては、文献等に基づき、噴出量に応じた値を設定

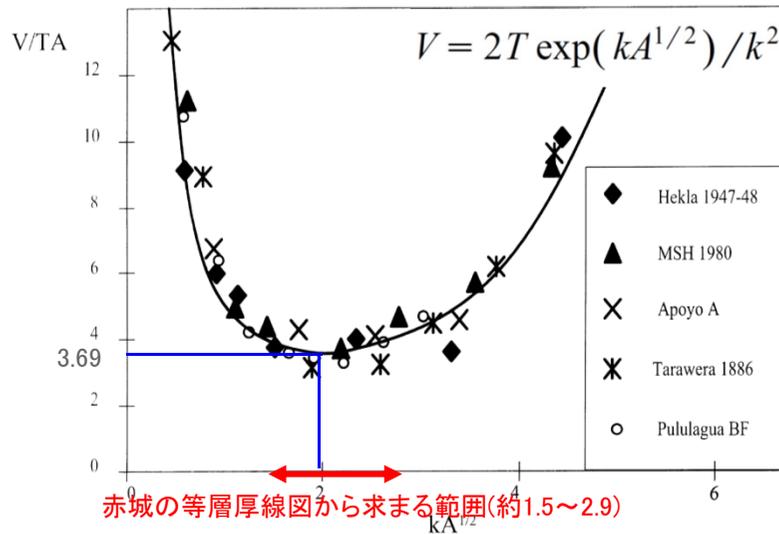
設定噴火規模	パラメータ	単位	設定値	設定根拠等	
赤城鹿沼テフラ (Ag-KP)	噴出量(見かけ体積量)	km ³	5	山元(2016)及び山元(2013a)に基づき設定 (見かけ体積量5km ³ に降下火砕物の密度800kg/m ³ を乗じた4.0×10 ¹² kgを設定)	
	噴煙柱高度	km	25	同程度の規模の噴火(VEI5)の一般値(Newhall and Self, 1982による)に基づいて設定	
	噴煙柱分割高さ	m	100	萬年(2013)より設定	
	粒径	最大	mm (Φ)	1,024 (-10)	Tephra2のconfigfileに示された珪長質噴火の一般値
		最小	mm (Φ)	1/1,024 (10)	Tephra2のconfigfileに示された珪長質噴火の一般値
		中央	mm (Φ)	1/23 (4.5)	Tephra2のconfigfileに示された事例に基づき設定(セントヘレンズ1980年噴火の例を参照)
		標準偏差	mm (Φ)	1/8 (3.0)	Tephra2のconfigfileに示された事例に基づき設定(セントヘレンズ1980年噴火の例を参照)
	岩片密度	t/m ³	2.6	Tephra2のconfigfileに示された一般値	
	軽石粒子密度	t/m ³	1.0	Tephra2のconfigfileに示された一般値	
	見かけの渦拡散係数	m ² /s	0.04	萬年(2013)より設定	
	拡散係数	m ² /s	10,000	萬年(2013)より設定	
	Fall Time Threshold	s	3,600	萬年(2013)より設定	
	Plume Ratio	-	0.1	Tephra2のconfigfileに示された事例に基づく一般値	
給源	X(東距)	m	338,296	「日本の火山(第3版)」(中野ほか(2013))より設定	
	Y(北距)	m	4,047,614		
	標高	m	1,828		

赤城鹿沼テフラの噴出量の妥当性

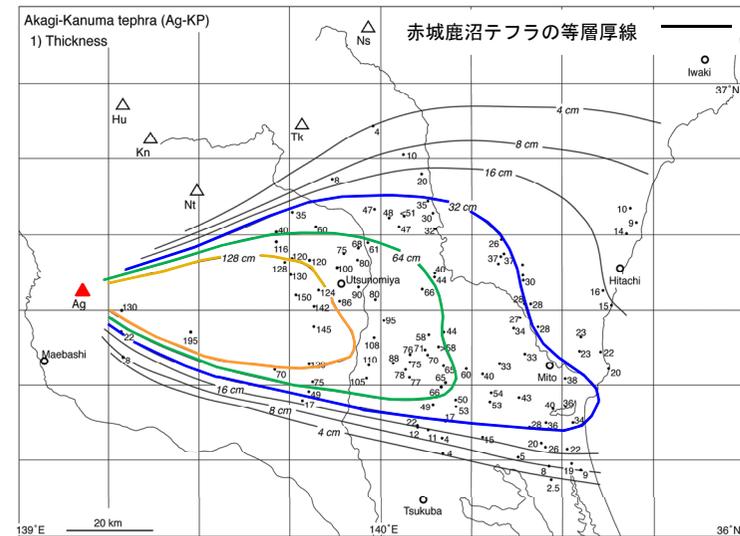
- 山元(2016)及び山元(2013a)では、赤城鹿沼テフラの噴出量(見かけ体積 5km^3)をLegros(2000)の簡便法を用いて算定している。
- Legros(2000)においては、降下火砕物の噴出量(V)を降下火砕物の層厚(T)と等層厚線が囲む面積(A)及び層厚毎の面積変化率(k)から求める(1)式が示されており、いくつかの噴火の事例から V/TA と $kA^{1/2}$ の関係を求め、最小体積 V_{min} として(2)式を提案している。
- 赤城鹿沼テフラにおいては、山元(2013a)の等層厚線(32cm, 64cm, 128cm)から求まる $kA^{1/2}$ が約1.5~2.9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。

$$V = 2T \exp(kA^{1/2}) / k^2 \quad \cdot \cdot (1) \quad V_{min} = 3.69TA \quad \cdot \cdot (2)$$

- 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)に一部加筆)



山元(2013)による赤城鹿沼テフラ(Ag-KP)の分布
(山元(2013a)に一部加筆)

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	
体積 $V = 3.69TA$	km^3	4.5	5.0	4.7	4.7

約 5km^3

風向・風速データ

- ・ 気象庁では、気象観測用ゾンデ(ラジオゾンデ)を用いて、地上から高度約30km間での大気の状態を1日2回(9時, 21時)観測している。
- ・ 敷地に最も近い高層気象台(館野)の観測記録をシミュレーション解析に用いた。

[使用する気象データ]

- ・ 月別平年値による解析及び噴煙柱高度の不確かさの検討には、気象庁による1981年～2010年の平年値を用いた。
- ・ これに対し、風の不確かさの検討においては、より長い期間のデータ※(1973年～2014年)により検討を行った。

※ワイオミング大学 Department of Atmospheric Science のHPより高層気象台(館野)の高層気象観測データをダウンロード(2015年6月28日)した。その際、1973年～2014年までの観測記録を月ごとにダウンロードし、記録されている9時・21時の全日時の風データを用いた。



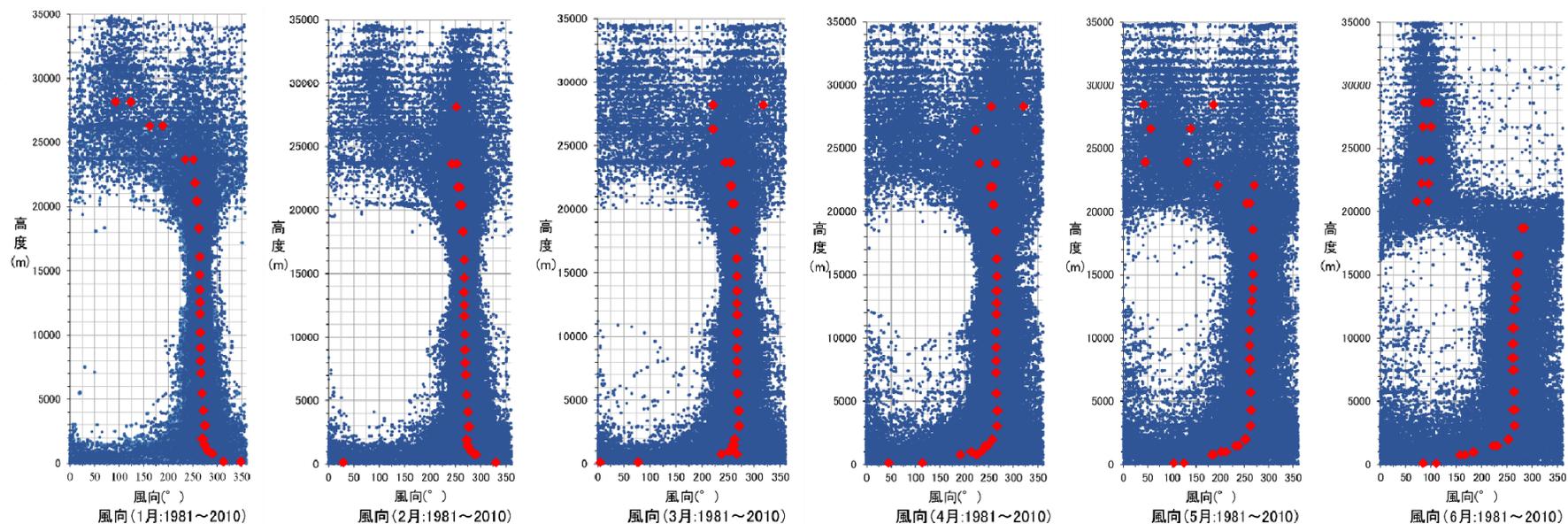
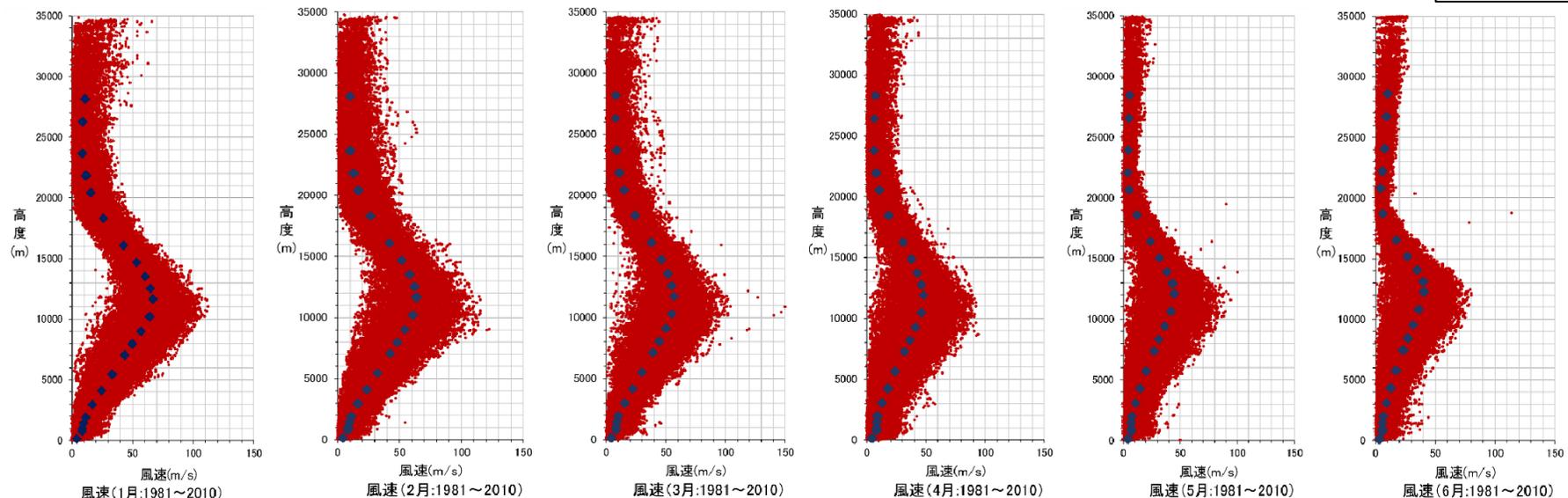
気象庁HP

http://www.jma-net.go.jp/kousou/obs_second_div/sonde/sonde04.html (2016. 1. 25取得)に一部加筆

4. 原子力発電所に影響を及ぼし得る火山事象の抽出及びその影響評価 4.1 降下火砕物の影響評価(2) 降下火砕物シミュレーション

風向・風速データ 定時観測値及び平年値の鉛直分布①: 1月～6月

第432回審査会合
資料1 再掲



高層気象台(館野)における風速・風向鉛直分布

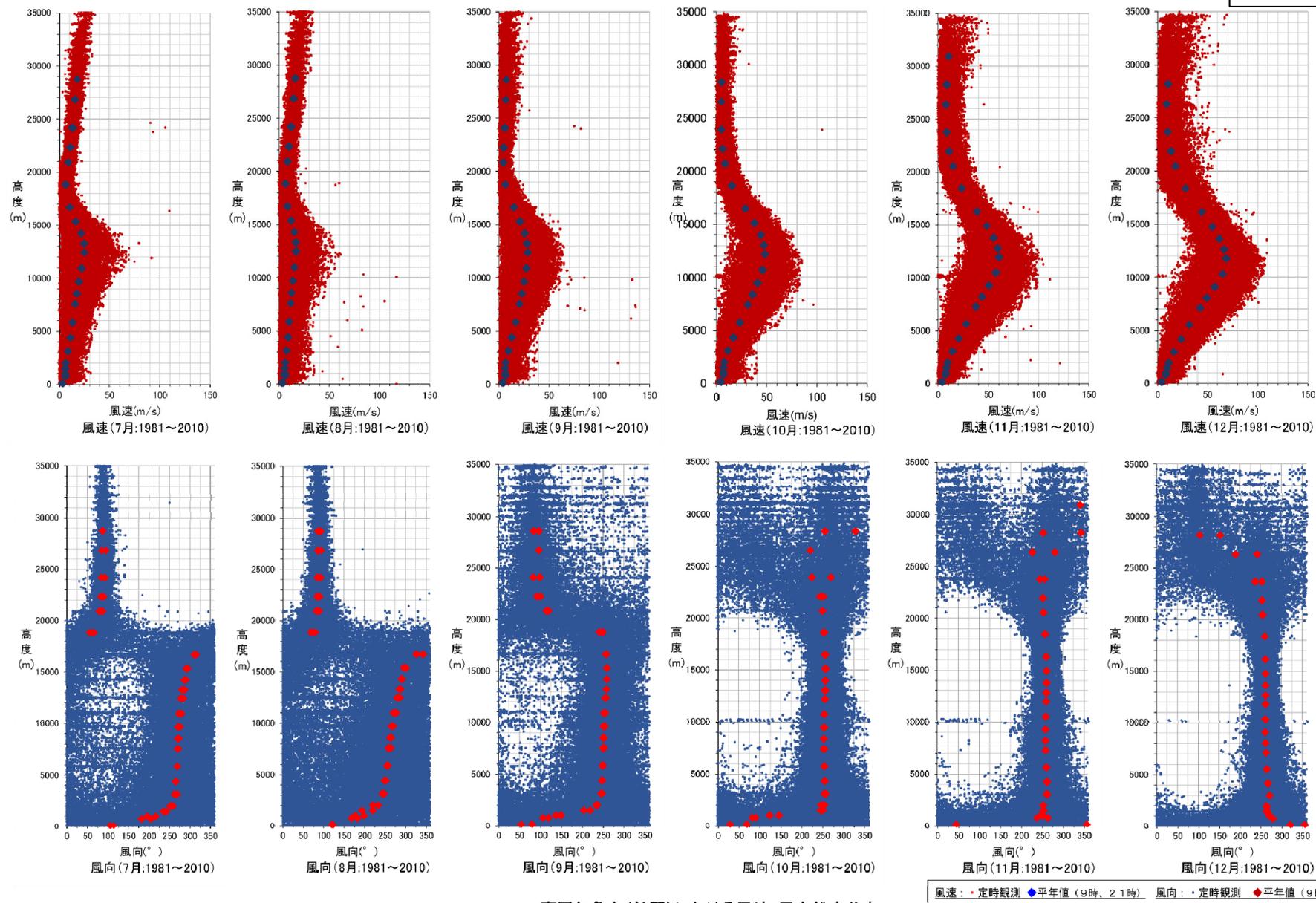
風速: - 定時観測 ◆ 平年値(9時、21時) 風向: - 定時観測 ◆ 平年値(9時、21時)

平年値: <http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/upper/>, 定時観測データ <http://weather.uwyo.edu/upperair/sounding.html> (2015年6月28日ダウンロード)

4. 原子力発電所に影響を及ぼし得る火山事象の抽出及びその影響評価 4.1 降下火砕物の影響評価(2) 降下火砕物シミュレーション

風向・風速データ 定時観測値及び平年値の鉛直分布②:7月~12月

第432回審査会合
資料1 再掲



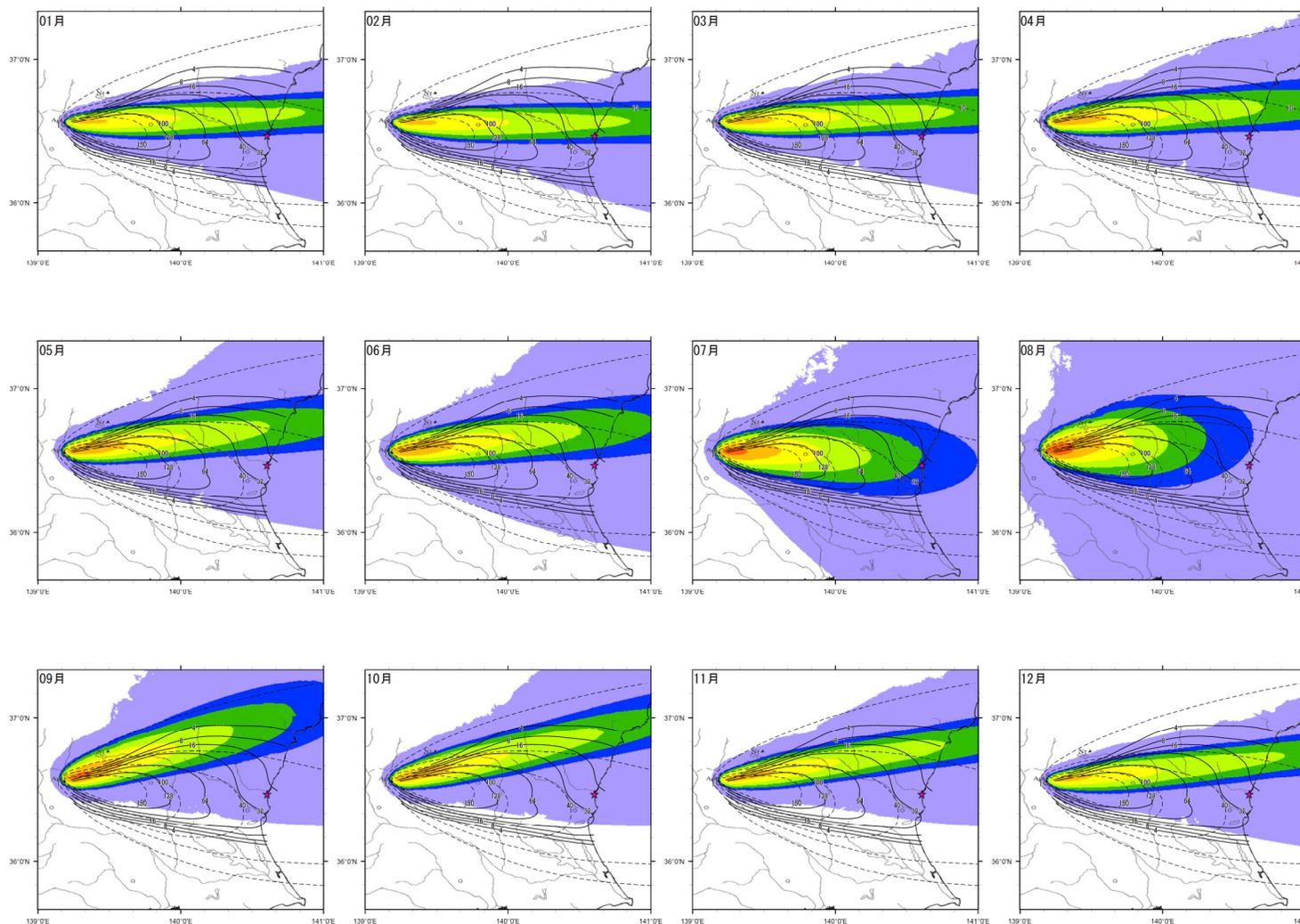
高層気象台(館野)における風速・風向鉛直分布

平年値: <http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/upper/>, 定時観測データ <http://weather.uwyo.edu/upperair/sounding.html> (2015年6月28日ダウンロード)

月別平年値解析①(9時)

風向・風速の月別平年値(9時)を用いた解析結果と町田・新井(2011)及び山元(2013a)の赤城鹿沼テフラの等層厚線図の重ね合わせを以下に示す。

- ・一年を通じて偏西風の影響を受け、降下火砕物の分布主軸が東～東北東に向く。
- ・全体的に層厚は小さく、実際の分布と整合しない。



月	時	堆積厚さ (cm)
1月	9時	4.0
2月	9時	8.9
3月	9時	3.3
4月	9時	2.5
5月	9時	1.4
6月	9時	2.4
7月	9時	7.5
8月	9時	3.4
9月	9時	0.2
10月	9時	0.2
11月	9時	0.3
12月	9時	1.1

文献の等層厚線
 - - - - - 町田・新井(2011)
 ———— 山元(2013a)

★ : 東海第二発電所
 ▲ : 給源火山 (Ag: 赤城山)

凡例

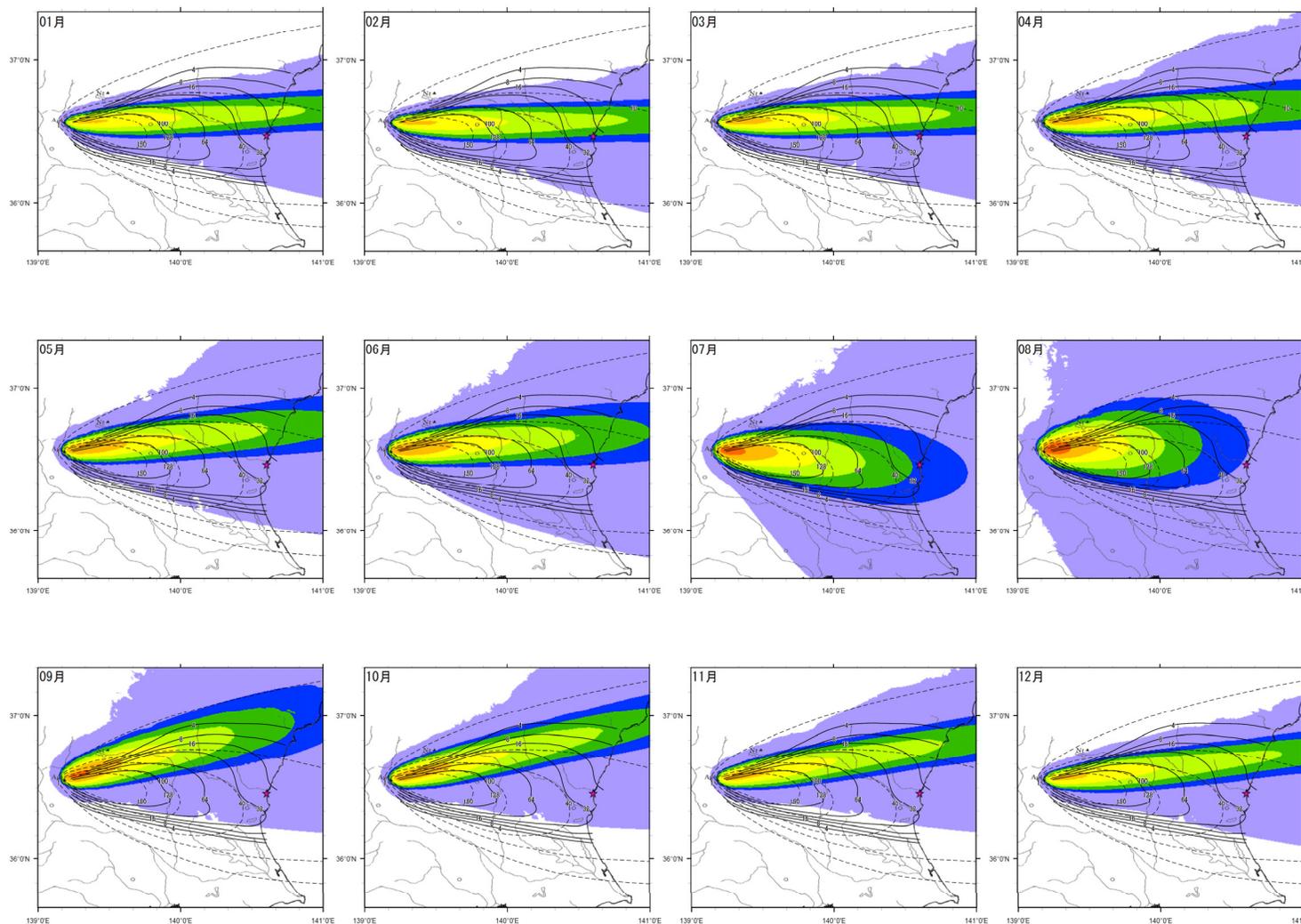
□	~ 0.1cm
□	0.1 ~ 4.0cm
□	4.0 ~ 8.0cm
□	8.0 ~ 16.0cm
□	16.0 ~ 32.0cm
□	32.0 ~ 64.0cm
□	64.0 ~ 128.0cm
□	128.0 ~ cm

解析結果と町田・新井(2011)及び山元(2013a)の赤城鹿沼テフラの等層厚線図の重ね合わせ

月別平年値解析②(21時)

風向・風速の月別平年値(21時)を用いた解析の結果と町田・新井(2011)及び山元(2013a)の赤城鹿沼テフラの等層厚線図の重ね合わせを以下に示す。

- ・一年を通じて偏西風の影響を受け、降下火砕物の分布主軸が東～東北東に向く。
- ・全体的に層厚は小さく、実際の分布と整合しない。



月	時	堆積厚さ (cm)
1月	21時	3.1
2月	21時	7.9
3月	21時	3.9
4月	21時	2.5
5月	21時	1.8
6月	21時	4.1
7月	21時	7.1
8月	21時	3.6
9月	21時	0.4
10月	21時	0.2
11月	21時	0.4
12月	21時	1.1

文献の等層厚線
 - - - - - 町田・新井(2011)
 ——— 山元(2013a)

★ : 東海第二発電所
 ▲ : 給源火山(Ag: 赤城山)

凡例

□	~ 0.1cm
□	0.1 ~ 4.0cm
□	4.0 ~ 8.0cm
□	8.0 ~ 16.0cm
□	16.0 ~ 32.0cm
□	32.0 ~ 64.0cm
□	64.0 ~ 128.0cm
□	128.0 ~ cm

解析結果と町田・新井(2011)及び山元(2013a)の赤城鹿沼テフラの等層厚線図の重ね合わせ

4. 原子力発電所に影響を及ぼし得る火山事象の抽出及びその影響評価 4.1 降下火砕物の影響評価(2)降下火砕物シミュレーション

コメントNo.4

解析条件の再検討

解析条件のうち粒径及び粒子密度の設定についてTephra2で推奨される他の噴火事例等を参考に実際の分布と解析結果が整合するパラメータを検討した結果、以下の条件を設定した場合において実際の分布と概ね整合した結果が得られた。

- 中央粒径，粒径の標準偏差が小さい噴火事例を参考に設定
- 粒子密度をすべて軽石の密度に設定

設定噴火規模	パラメータ	単位	設定値	設定根拠等	
赤城鹿沼テフラ (Ag-KP)	噴出量(見かけ体積量)	km ³	5	山元(2016)及び山元(2013a)に基づき設定 (見かけ体積量に降下火砕物の密度800kg/m ² を乗じた4.0×10 ¹² kgを設定)	
	噴煙柱高度	km	25	同程度の規模の噴火(VEI5)の一般値(Newhall and Self, 1982による)に基づいて設定	
	噴煙柱分割高さ	m	100	萬年(2013)より設定	
	粒径	最大	mm (Φ)	1,024 (-10)	Tephra2のconfigfileに示された珪長質噴火の一般値
		最小	mm (Φ)	1/1,024 (10)	Tephra2のconfigfileに示された珪長質噴火の一般値
		中央	mm (Φ)	1/2 (1.0)	Tephra2のconfigfileに示される他の噴火事例に基づいて設定(エトナ1998年噴火の例を参照)
		標準偏差	mm (Φ)	約1/3 (1.5)	Tephra2のconfigfileに示される他の噴火事例に基づいて設定(エトナ1998年噴火の例を参照)
	粒子密度※1	t/m ³	1.0	噴出物を構成する粒子が全て軽石と想定 なお、山元(2013a)において赤城鹿沼テフラは発砲の良い軽石火山礫からなるとされており、当社地質調査においても軽石主体であることが確認されている。※2	
	見かけの渦拡散係数※1	m ² /s	0.04	萬年(2013)より設定	
	拡散係数※1	m ² /s	10,000	萬年(2013)より設定	
	Fall Time Threshold※1	s	3,600	萬年(2013)より設定	
	Plume Ratio	-	0.1	Tephra2のconfigfileに示された事例に基づく一般値	
	給源	X(東距)	m	338,296	「日本の火山(第3版)」(中野ほか(2013))より設定
Y(北距)		m	4,047,614		
標高		m	1,828		

※1 粒子の密度設定と拡散の計算(見かけの渦拡散係数, 拡散係数, Fall Time Thresholdの扱い)についての詳細を参考5に示す。

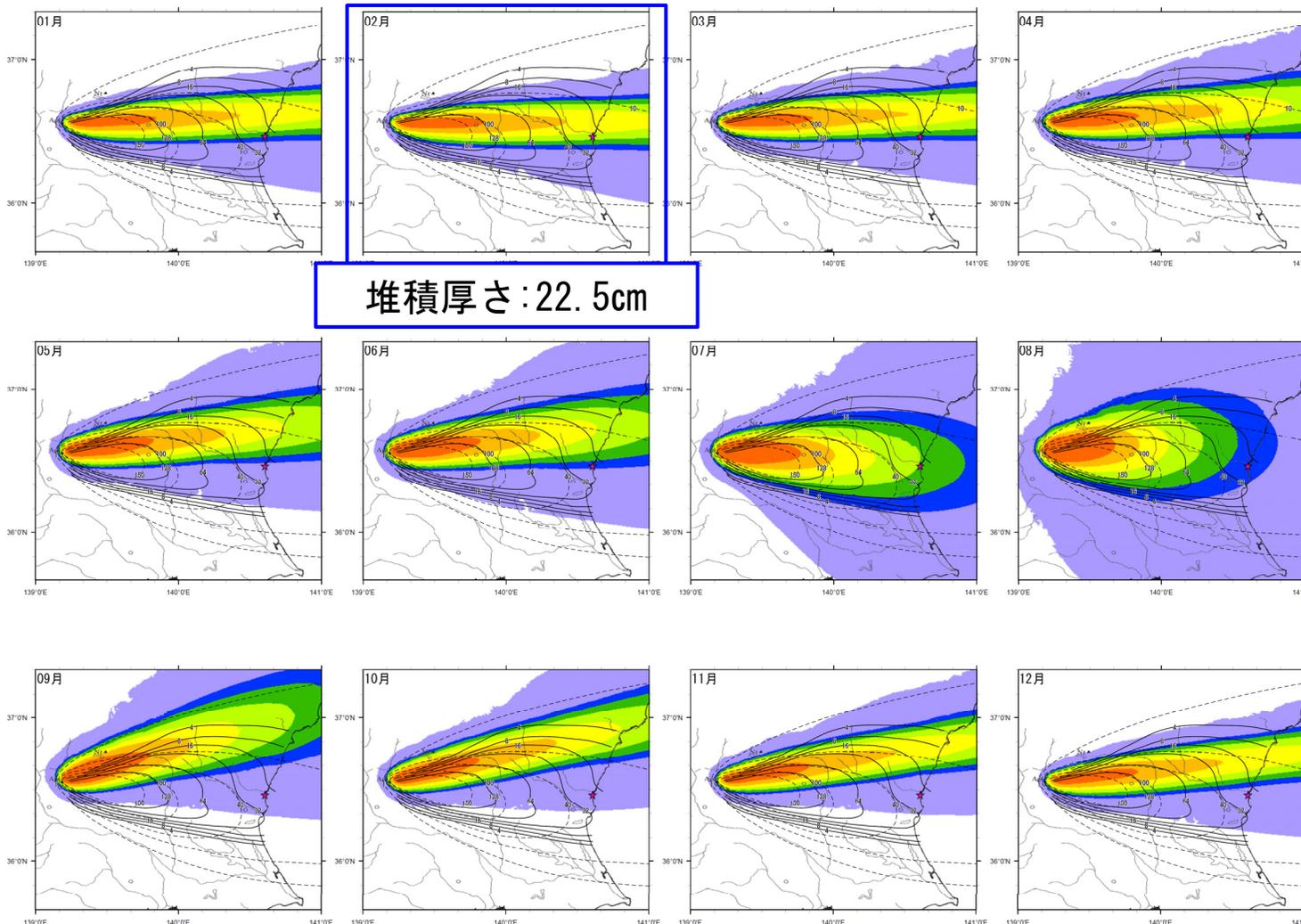
※2 敷地周辺(敷地及び敷地近傍を含む)における地質調査結果についてはP90~98に掲載。また、給源(赤城山)周辺の産状(粒子構成)を確認した結果については参考6に示す。

月別平年値解析①(9時)

見直し後の解析条件での風向・風速の月別平年値(9時)を用いた解析の結果と町田・新井(2011)及び山元(2013a)の赤城鹿沼テフラの等層厚線図の重ね合わせを以下に示す。

- ・7月において実際の分布に対し概ね整合した結果が得られた。
- ・2月の敷地における堆積厚さが1年間の中で最大(22.5cm)となった。

※解析条件見直し前後の敷地における粒度分布の比較を参考7に掲載。



月	時	堆積厚さ (cm)
1月	9時	8.8
2月	9時	22.5
3月	9時	7.4
4月	9時	5.4
5月	9時	2.6
6月	9時	5.0
7月	9時	15.0
8月	9時	5.4
9月	9時	0.3
10月	9時	0.1
11月	9時	0.3
12月	9時	1.5

文献の等層厚線
 - - - - - 町田・新井(2011)
 ——— 山元(2013a)

★ : 東海第二発電所
 ▲ : 給源火山 (Ag:赤城山)

凡 例

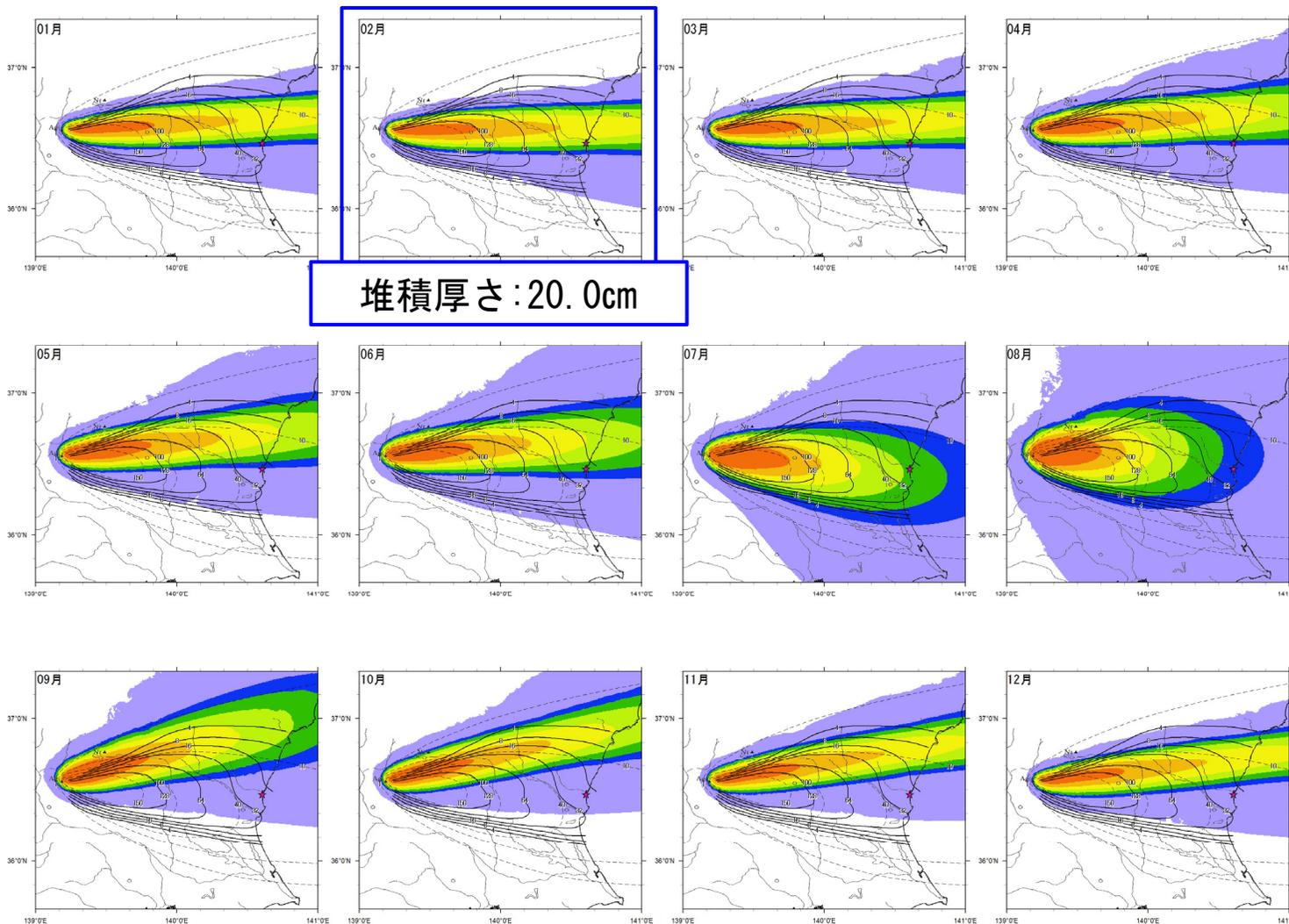
□	~ 0.1cm
□	0.1~ 4.0cm
□	4.0~ 8.0cm
□	8.0~ 16.0cm
□	16.0~ 32.0cm
□	32.0~ 64.0cm
□	64.0~ 128.0cm
□	128.0~ cm

解析結果と町田・新井(2011)及び山元(2013a)の赤城鹿沼テフラの等層厚線図の重ね合わせ

月別平年値解析②(21時)

見直し後の解析条件での風向・風速の月別平年値(21時)を用いた解析の結果と町田・新井(2011)及び山元(2013a)の赤城鹿沼テフラの等層厚線図の重ね合わせを以下に示す。

- ・7月において実際の分布に対し概ね整合した結果が得られた。
- ・2月の敷地における堆積厚さが1年間の中で最大(20.0cm)となった。



月	時	堆積厚さ (cm)
1月	21時	6.5
2月	21時	20.0
3月	21時	9.1
4月	21時	5.5
5月	21時	3.6
6月	21時	9.5
7月	21時	13.8
8月	21時	6.0
9月	21時	0.6
10月	21時	0.2
11月	21時	0.4
12月	21時	1.5

文献の等層厚線
 - - - - - 町田・新井(2011)
 ———— 山元(2013a)

★ : 東海第二発電所
 ▲ : 給源火山(Ag.赤城山)

凡例

□	~ 0.1cm
□	0.1~ 4.0cm
□	4.0~ 8.0cm
□	8.0~ 16.0cm
□	16.0~ 32.0cm
□	32.0~ 64.0cm
□	64.0~ 128.0cm
□	128.0~ cm

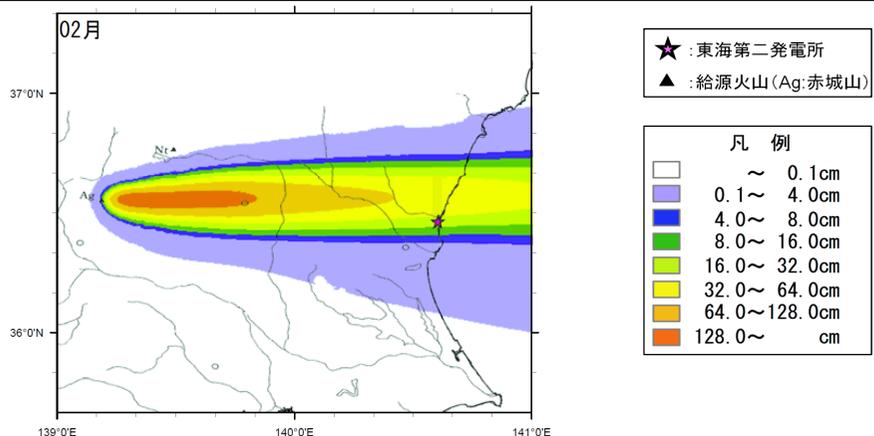
解析結果と町田・新井(2011)及び山元(2013a)の赤城鹿沼テフラの等層厚線図の重ね合わせ

不確かさ解析(概要)

見直した解析条件において実際の分布と整合するケースが認められたことから、妥当な条件であると判断し、この条件で敷地における堆積厚さが最大(22.5cm)となる2月(9時)の月別平年値の風(1981年~2010年)を用いて、以下の不確かさによる堆積厚さへの影響について検討する。

- ・ 噴煙柱高度25kmを基本ケースとし、噴煙柱高度の高・低(±5km)
- ・ 2月の月別平年値の風を基本ケースとし、風速のばらつき(±1σ)、風向の不確かさ(敷地方向の風)

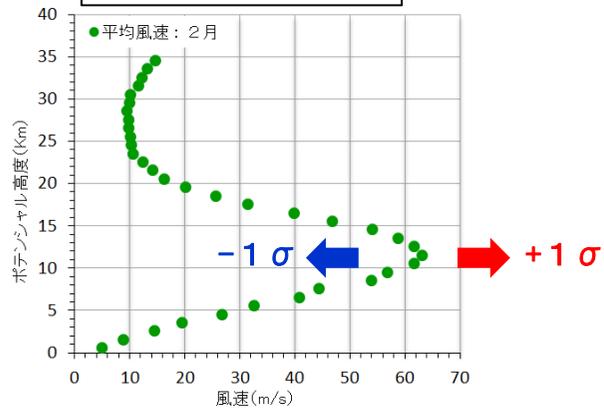
基本ケース：噴煙柱高度 25km, 2月(9時)の平年値の風(統計期間1981年~2010年)



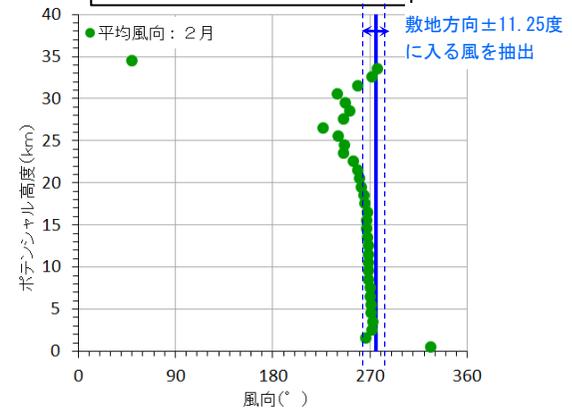
★	東海第二発電所
▲	給源火山(Ag:赤城山)
凡 例	
□	~ 0.1cm
□	0.1~ 4.0cm
□	4.0~ 8.0cm
□	8.0~ 16.0cm
□	16.0~ 32.0cm
□	32.0~ 64.0cm
□	64.0~ 128.0cm
□	128.0~ cm

不確かさ<噴煙柱高度>
噴煙柱高度 : ± 5 km

不確かさ<風速>※
風速 ± 1 σ



不確かさ<風向>※
敷地方向の風

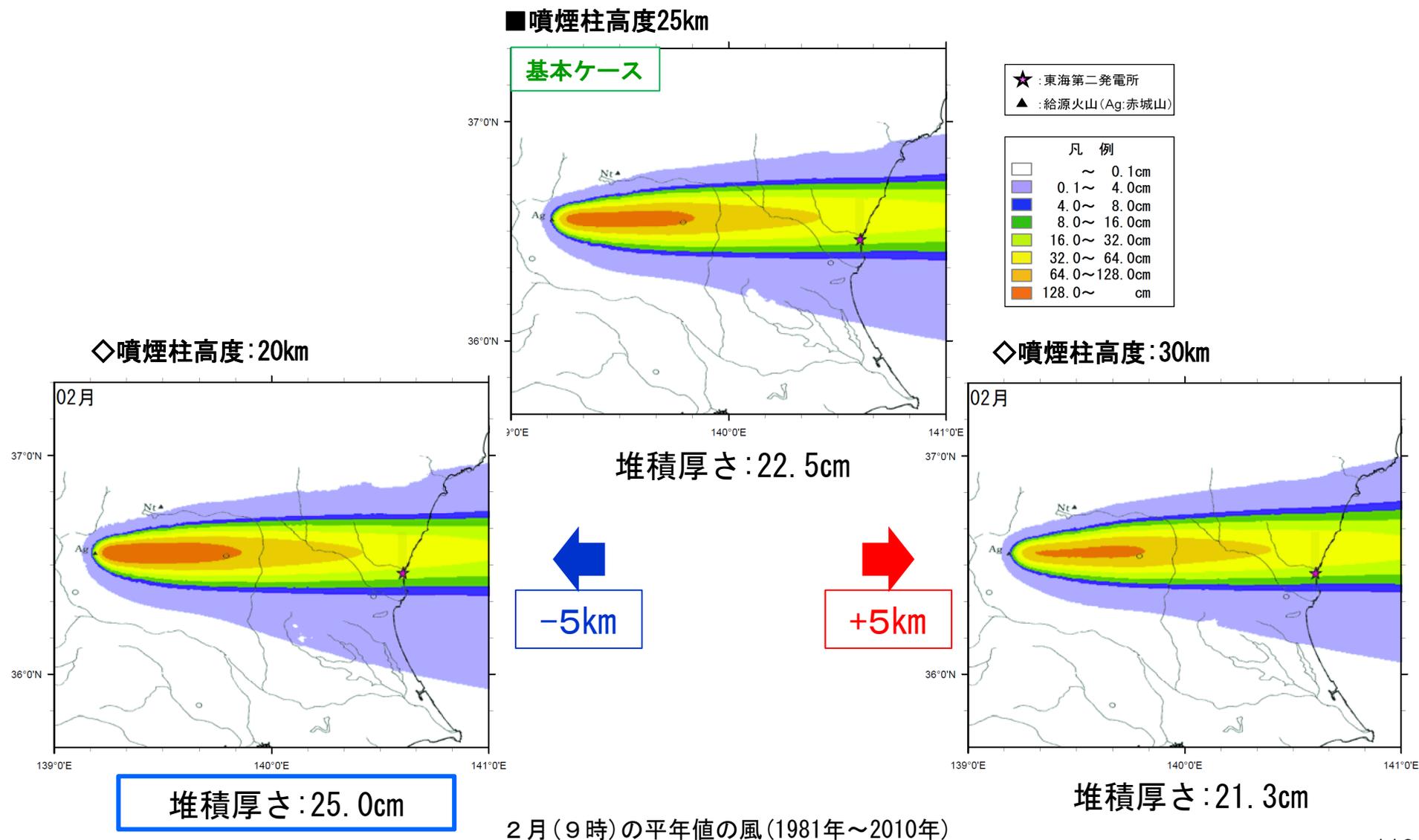


高度 1 km毎に風速データを整理し、± 1 σの風速を設定

高度 2 km~18kmの観測毎の風向について、風向の平均値が敷地方向(275.39度)から16方位分の1方位分の角度(±11.25度)に入る風を抽出し、月平均の風向を設定
※気象データ：1973年~2014年(2月)を使用

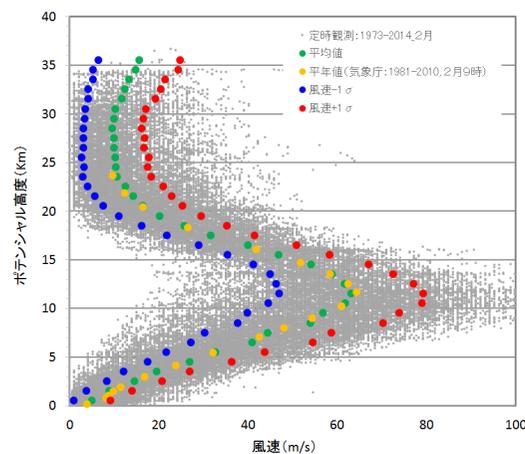
不確かさ解析①(噴煙柱高度)

噴煙柱高度の不確かさを考慮し、基本ケースに対して±5kmを考慮したケースについて検討した結果、噴煙柱高度20kmで敷地における堆積厚さが大きくなり、その堆積厚さは約25cmとなった。

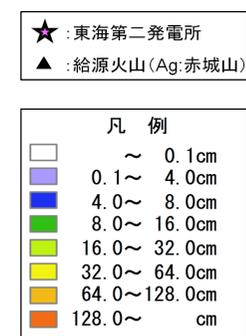
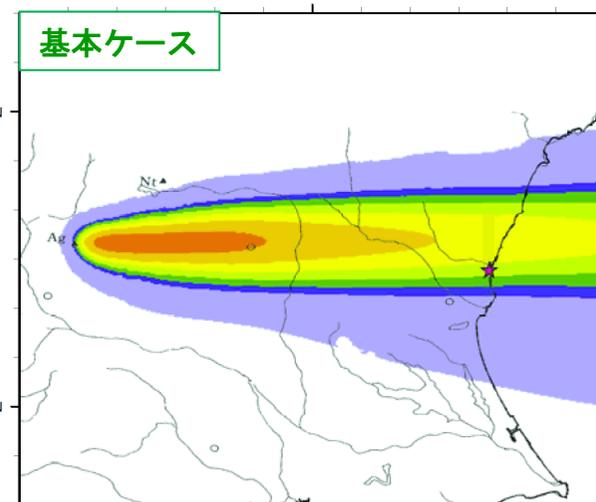


不確かさ解析②(風速)

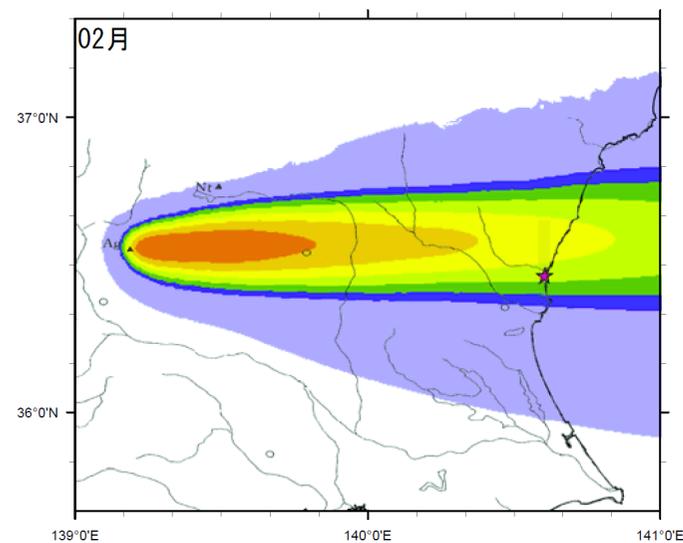
風速の不確かさを考慮し、2月の平均風速(1973年~2014年)に対して±1σの風速を考慮したケースについて検討した結果、基本ケースでの敷地における堆積厚さが最大となり、その堆積厚さは約23cmとなった。



■ 2月(9時)の平年値の風

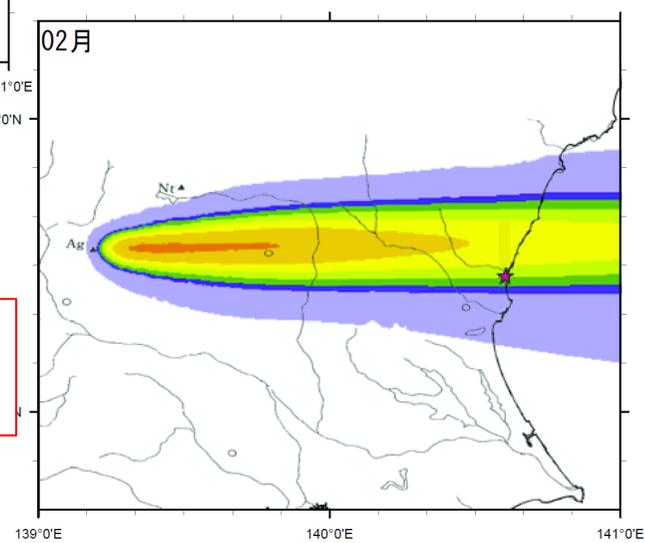


◇ 平均値に対して-1σの風速



堆積厚さ: 21.3cm

◇ 平均値に対して+1σの風速

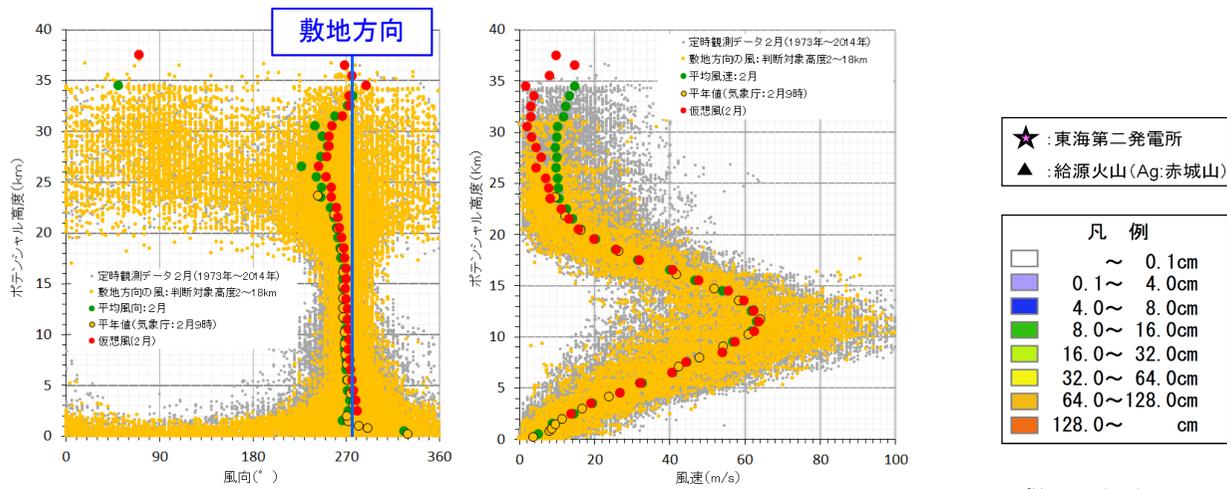


堆積厚さ: 17.5cm

堆積厚さ: 22.5cm

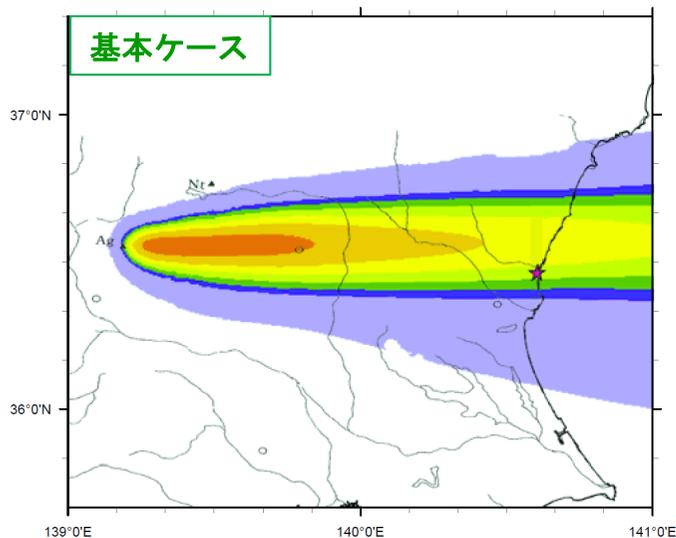
不確かさ解析③(風向)

風向の不確かさを考慮し、2月の観測値(1973年~2014年)を用いて、敷地方向の風を作成して検討した結果、敷地における堆積厚さは約49cmとなった。



■ 2月(9時)の平年値の風

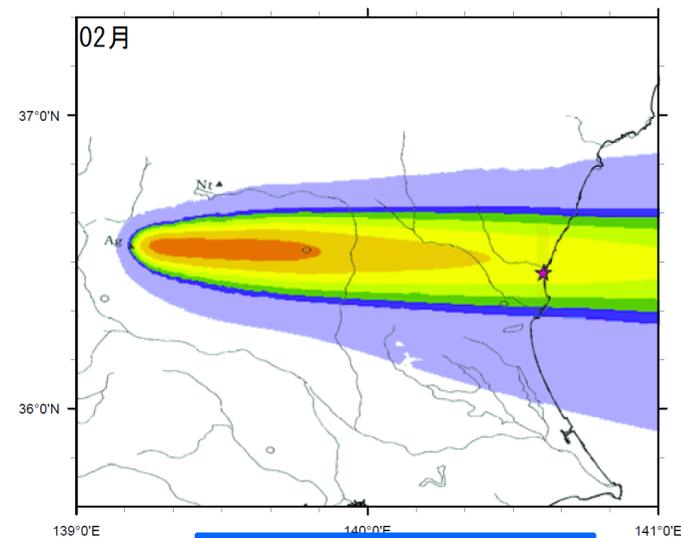
◇ 敷地方向の風



堆積厚さ:22.5cm



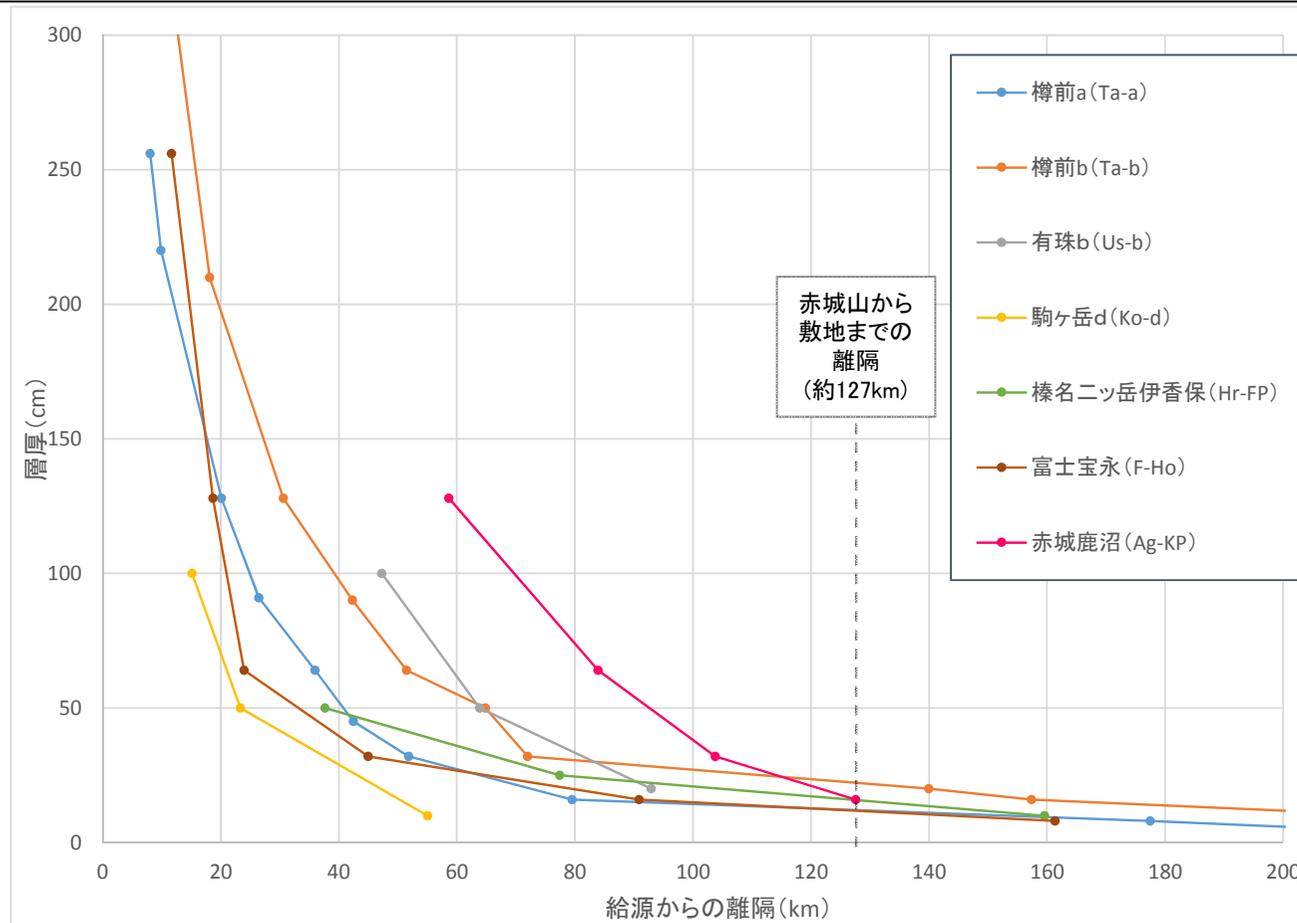
敷地方向の風



堆積厚さ:48.8cm

赤城鹿沼テフラと同規模の降下火砕物の層厚分布と離隔に関する知見の整理①

- ・ 赤城鹿沼テフラと同規模 (VEI5相当) の降下火砕物の層厚分布と離隔に関する知見を以下のとおり整理した。
 - 気象庁編(2013)及び産業技術総合研究所地質調査総合センター編(2014)に基づきVEI5相当の降下火砕物を抽出※1
 - 各噴火における降下火砕物の層厚減衰曲線を文献に示される層厚分布から作成
 - 赤城山から敷地までの離隔(約127km)における各層厚を確認
- ・ 以上の整理の結果, VEI5相当の降下火砕物の分布事例において, 給源からの距離に応じて層厚は減衰する傾向がみられ, 給源からの離隔が約127km(赤城山から敷地までの距離)の地点での層厚は約25cm以下であった。



降下火砕物 (VEI5) の層厚減衰曲線※3

※1 歴史噴火を対象に降下火砕物だけの量が VEI5相当(1~10km³)のもの抽出

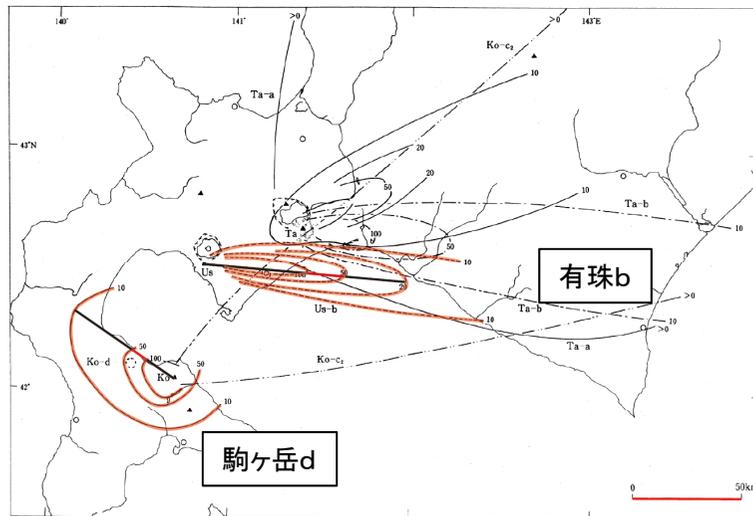
テフラ名	噴出量(km ³)※2
樽前a	4.0
樽前b	2.8
有珠b	2.18
駒ヶ岳d	2.3
榛名ニッ岳伊香保	1.3
富士宝永	1.8
赤城鹿沼	5.0

※2 噴出量は産業技術総合研究所総合センター編(2014), Miyaji et al.(2011)に基づく
 なお, 樽前a及び樽前bについては降下火砕物の他に火砕流の量も含まれているがその内訳は不明とされている。

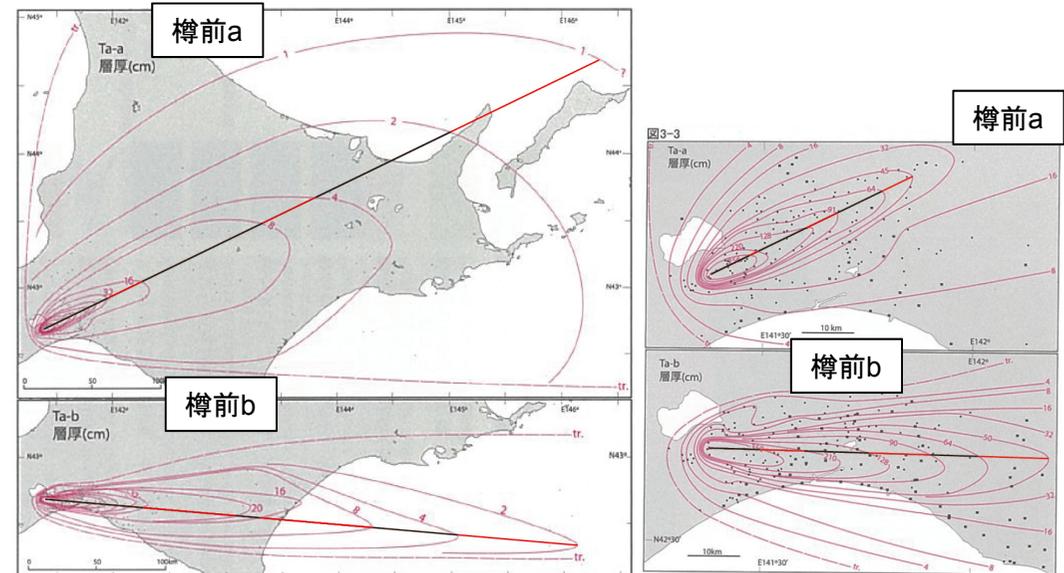
※3 以下の知見に示される等層厚線に基づき作成
 なお, 給源からの離隔は主軸方向の層厚の到達距離 (駒ヶ岳, 有珠, 榛名)町田・新井(2011) (富士)Naomichi Miyaji.et.al (2011) (樽前)古川・中川(2010) (赤城)山元(2013a)

VEI5相当の降下火砕物の分布事例において, 給源からの離隔が約127km (赤城山から敷地までの距離)の地点での層厚は約25cm以下であった。

赤城鹿沼テフラと同規模の降下火砕物の層厚分布と離隔に関する知見の整理②



町田・新井(2011)に一部加筆



古川・中川(2010)に一部加筆

設計上考慮する降下火砕物の層厚

文献調査及び地質調査及び降下火砕物シミュレーション結果から総合的に判断し、設計上考慮する降下火砕物の層厚を保守的に50cmと設定する。

(降下火砕物の分布状況に基づく検討)

- 敷地及び敷地周辺の降下火砕物の分布状況について、文献調査及び地質調査を実施

【文献調査】

- 敷地において最大層厚となる降下火砕物
⇒赤城鹿沼テフラ
町田・新井(2011): 10~40cm (敷地周辺)
山元(2013a): 16~32cm (敷地周辺)
(敷地付近で20cm程度)

【地質調査(赤城鹿沼テフラ)】

- 敷地周辺の露頭調査：文献の分布と整合
- 敷地及び敷地近傍のボーリング調査・露頭調査：約15~20cm
- 上記層厚は浸食による影響を受けておらず、文献調査結果とも整合していることを確認

⇒敷地周辺での層厚のばらつきも考慮した評価：40cm

(降下火砕物シミュレーションに基づく検討)

- 赤城鹿沼テフラと同規模の噴火を想定した数値シミュレーションを実施
⇒不確かさ解析(噴煙柱高度・風速・風向)結果：敷地で約49cm

(降下火砕物の分布事例に基づく検討)

- 赤城鹿沼テフラと同規模の噴火の降灰分布の事例を確認・整理
- 赤城山と敷地と同じ距離(約127km)での層厚：最大約25cm

降下火砕物の分布状況、シミュレーション及び分布事例による検討結果から総合的に判断し、設計上考慮する降下火砕物の層厚を50cmと設定

(4) 降下火砕物の粒径・密度(評価結果)

文献調査及び地質調査(土質試験)結果から、設計上考慮する降下火砕物の粒径及び密度を以下のとおり設定する。

○調査結果

項目	文献調査 (敷地周辺)	当社の試験結果	
		最小	最大
最大粒径	最大8mm ^{※1}	最大4.8mm ^{※4}	
湿潤密度	約1.0~1.2g/cm ³ ^{※2,※3} (1.2g/cm ³ を超えることがある) ^{※3}	約0.9g/cm ³	約1.1g/cm ³
乾燥密度	約0.3~0.7g/cm ³ ^{※2,※3}	約0.3g/cm ³	約0.5g/cm ³

※1: 山元(2013a), ※2: 富田ほか(1994), ※3: 宇井編(1997)に基づく
 ※4: 敷地及び大洗研究開発センターでの試験結果の最大値



設計上考慮する降下火砕物の粒径及び密度の設定値

- ・ 粒径 : 8mm以下
- ・ 密度 : 0.3g/cm³ ~ 1.5g/cm³ ^{※5}
 (乾燥状態) (湿潤状態)

※5: 宇井編(1997)によると「湿ると1.2を超えることがある」とされていることを踏まえ、保守的に設定

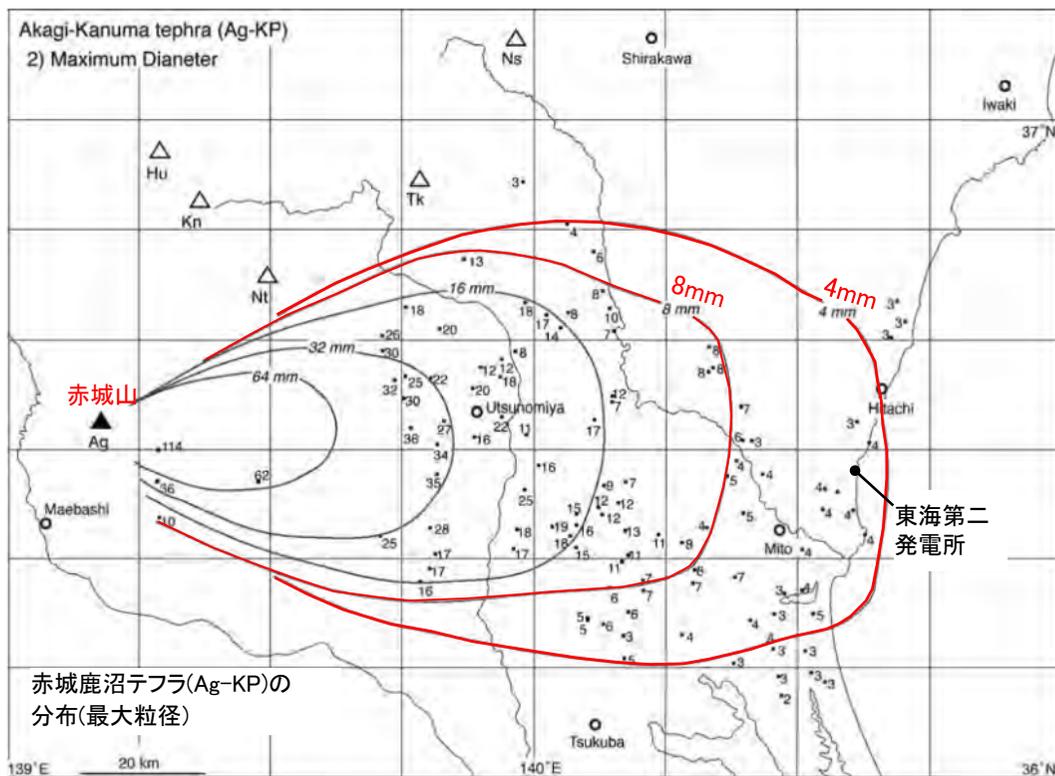
文献調査①

第432回審査会合
資料1 再掲

山元(2013a)によると、敷地における降下火砕物の最大粒径は最大8mm(赤城鹿沼テフラ)である。

- 敷地は赤城鹿沼テフラの8mmと4mmの等粒径線の間に位置する。
- (参考)敷地は男体今市テフラ及び男体七本桜テフラの8mmの等粒径線の外側に位置する。

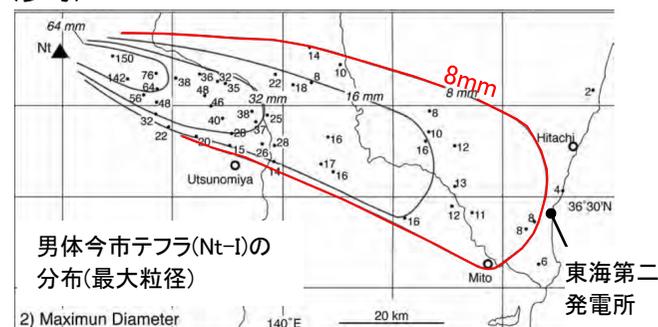
【粒径】



第17図 赤城鹿沼テフラ(Ag-KP)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。Ag = 赤城火山；Hu = 燧ヶ岳火山；Kn = 鬼怒沼火山；Ns = 那須火山；Ni = 男体火山；Tk = 高原火山。

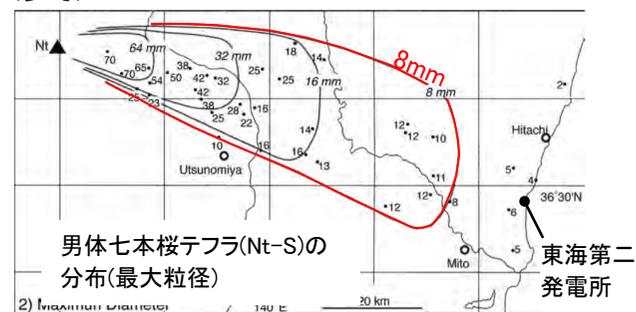
(参考)



第13図 男体今市テフラ(Ni-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。Ni = 男体火山。

(参考)



男体七本桜テフラ(Ni-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。Ni = 男体火山。

山元(2013a)に加筆

文献調査②

第432回審査会合
資料1 再掲

富田ほか(1994), 宇井編(1997)によれば, 赤城鹿沼テフラの密度は, 湿潤密度で約1.0~1.2g/cm³※超, 乾燥密度で約0.3~0.7g/cm³※である。

①富田ほか(1994)

- 鹿沼土(赤城鹿沼テフラ)の物理的性質について, 3地点で採取した試料の分析を行っている。
- そのうち, 敷地に最も近い笠間地区の湿潤密度及び乾燥密度は次のとおり。
 - ・湿潤密度 : 1.0 g/cm³※1
 - ・乾燥密度 : 0.3 g/cm³※2

②宇井編(1997)

「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。」とされている。

※1湿潤密度は小数点第2位を切り上げた。

※2乾燥密度は小数点第2位を切り下げた。

【密度】

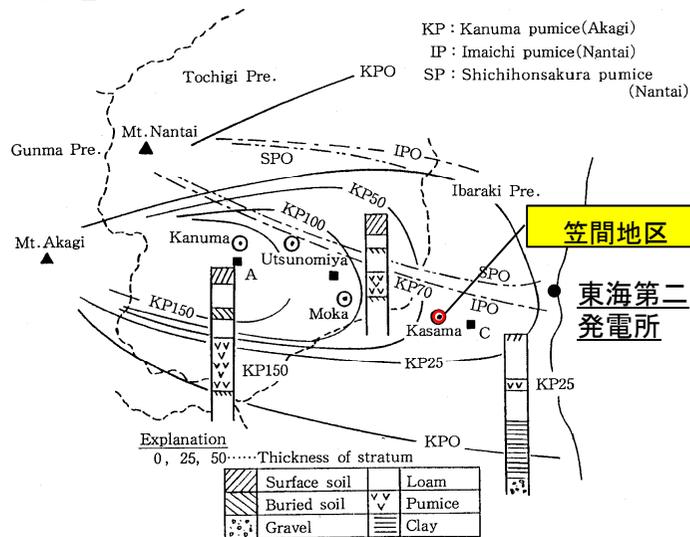


Fig. 1 栃木県における軽石層の分布
Distribution chart of the volcanic pumice strata in Tochigi prefecture

Table 2 鹿沼土の物理的性質
Physical properties of Kanumatsuchi

項目	鹿沼地区			真岡地区		笠間地区	関東ローム	
	上層	中層	下層	上層	下層			
採取深さ (m)	0.390 0.765	0.765 1.290	1.290 1.845	0.760 1.135	1.135 1.480	0.500 0.700		
自然含水比 ω_n (%)	213.2	191.5	220.0	175.6	194.0	167.8	109.7	
湿潤密度 ρ_s (g/cm ³)	1.062	1.051	1.006	1.039	0.937	0.994	1.301	
乾燥密度 ρ_d (g/cm ³)	0.339	0.361	0.315	0.378	0.318	0.367	0.620	
比重 G_s	2.674	2.650	2.653	2.718	2.701	2.776	2.794	
間隙比 e_n	6.902	6.362	7.442	6.212	7.488	6.730	3.507	
間隙率 n_n (%)	87.3	86.4	88.15	86.13	88.21	87.06	77.81	
飽和度 S_r (%)	82.7	79.8	78.4	76.7	70.0	69.2	87.4	
三相比	固相 (%)	12.70	13.60	11.85	13.83	11.81	13.29	22.19
	液相 (%)	72.37	68.98	69.12	66.10	61.73	62.50	68.07
	気相 (%)	14.93	17.42	19.03	20.07	26.46	24.21	9.74
液性限界 ω_L (%)	95~120	82.0	87.0	99.0	80.0	118.4	130.0	
塑性限界 ω_p (%)	85	67.0	70.0	79.0	68.0	89.8	88.0	

富田ほか(1994)に加筆

地質調査(敷地内)

第432回審査会合
資料1 修正

地質調査(土質試験)の結果、敷地における赤城鹿沼テフラの密度は、湿潤密度で最大約1.1g/cm³、乾燥密度で最小約0.3g/cm³であり、粒径は最大約4.8mmであり、中央粒径は約0.6~0.8mmであった。



試料採取位置図

- 人工土
 - 砂丘砂
 - 腐植土
 - 風化火山灰
 - Ag-KP
- ※数字は地表からの深度(m)

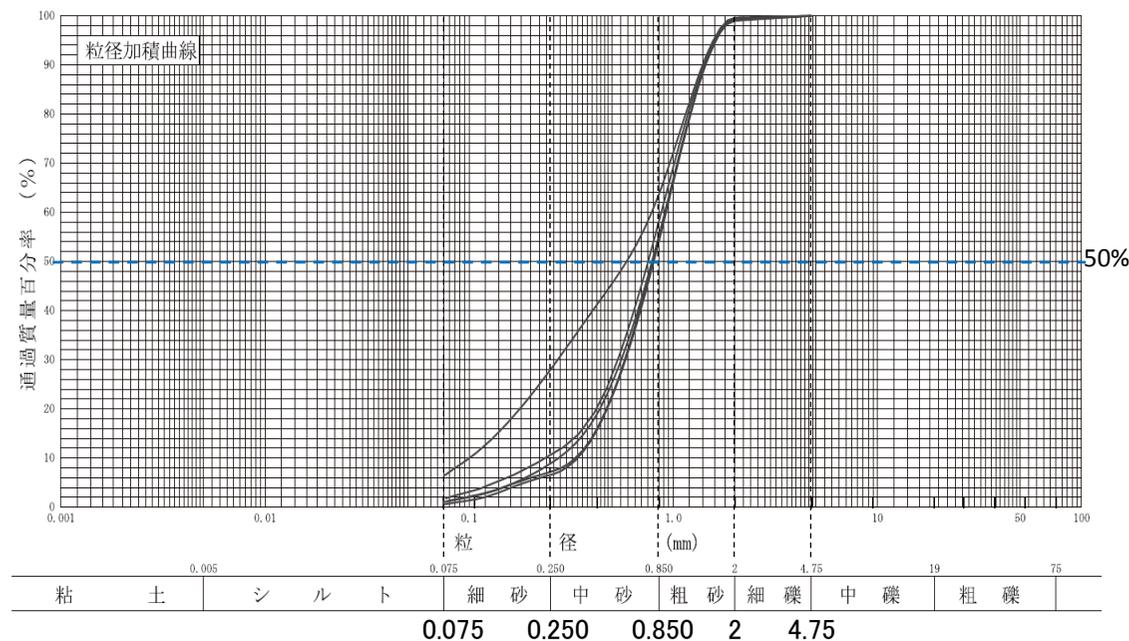


ボーリング柱状図

【密度試験結果】

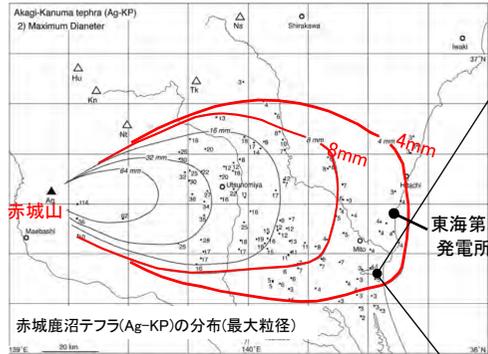
	最小	最大
湿潤密度	0.9g/cm ³	1.1g/cm ³
乾燥密度	0.3g/cm ³	0.5g/cm ³

【粒度試験結果：最大粒径約4.8mm(中央粒径約0.6~0.8mm)】

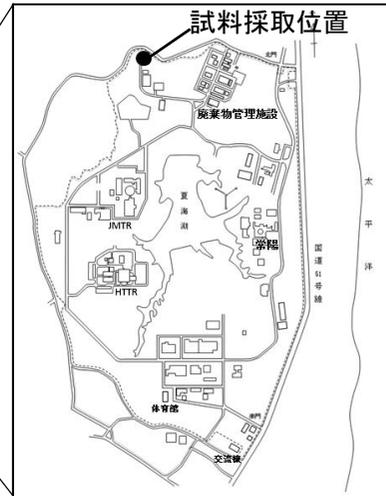


地質調査(敷地周辺：大洗研究開発センター地点)

大洗研究開発センター(HTR)内の露頭で認められる赤城鹿沼テフラを上下方向に3箇所試料を採取し、粒度試験を実施した結果、最大粒径は約4.8mmであり、中央粒径は約0.5~0.6mmであった。



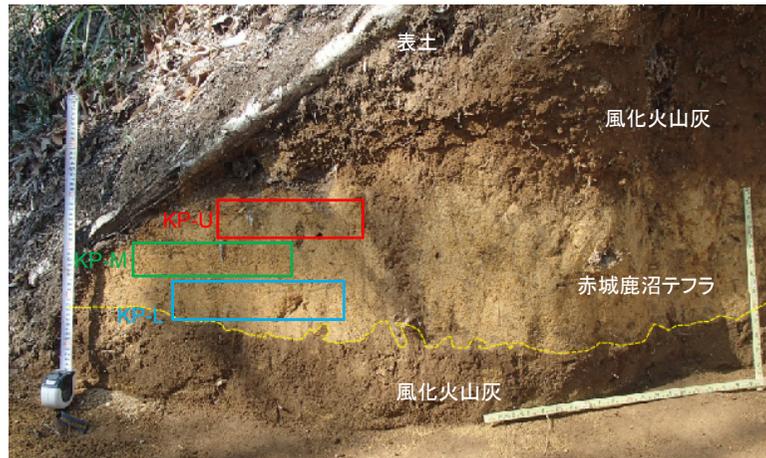
山元(2013a)に加筆



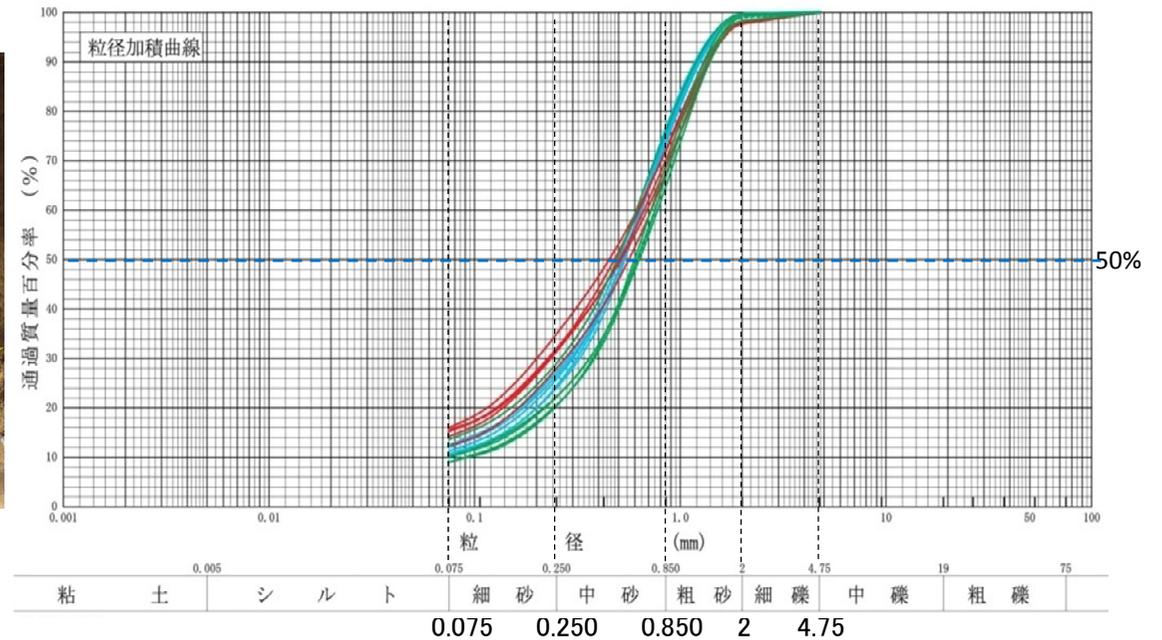
大洗研究開発センター

【粒度試験結果(3箇所, 1箇所5試料)
: 最大粒径約4.8mm(中央粒径約0.5~0.6mm)】

- KP-U**
 - ・最大粒径: 4.75mm
 - ・中央粒径: 0.45mm~0.56mm
- KP-M**
 - ・最大粒径: 4.75mm
 - ・中央粒径: 0.49mm~0.63mm
- KP-L**
 - ・最大粒径: 4.75mm
 - ・中央粒径: 0.50mm~0.54mm

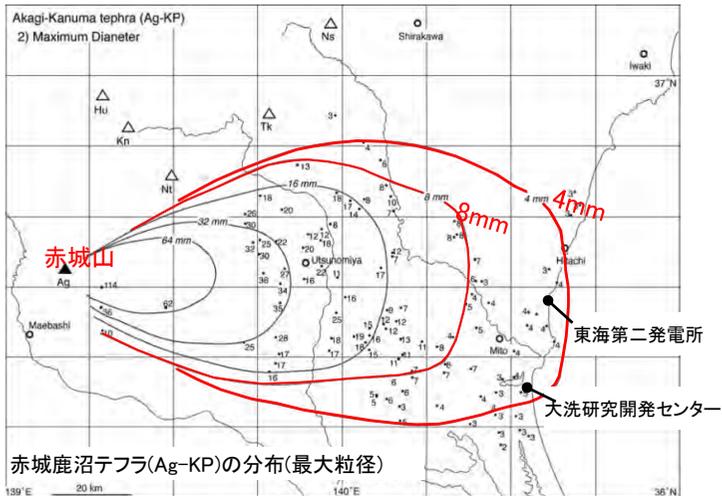


試料採取位置



地質調査(敷地と大洗研究開発センター地点の結果比較)

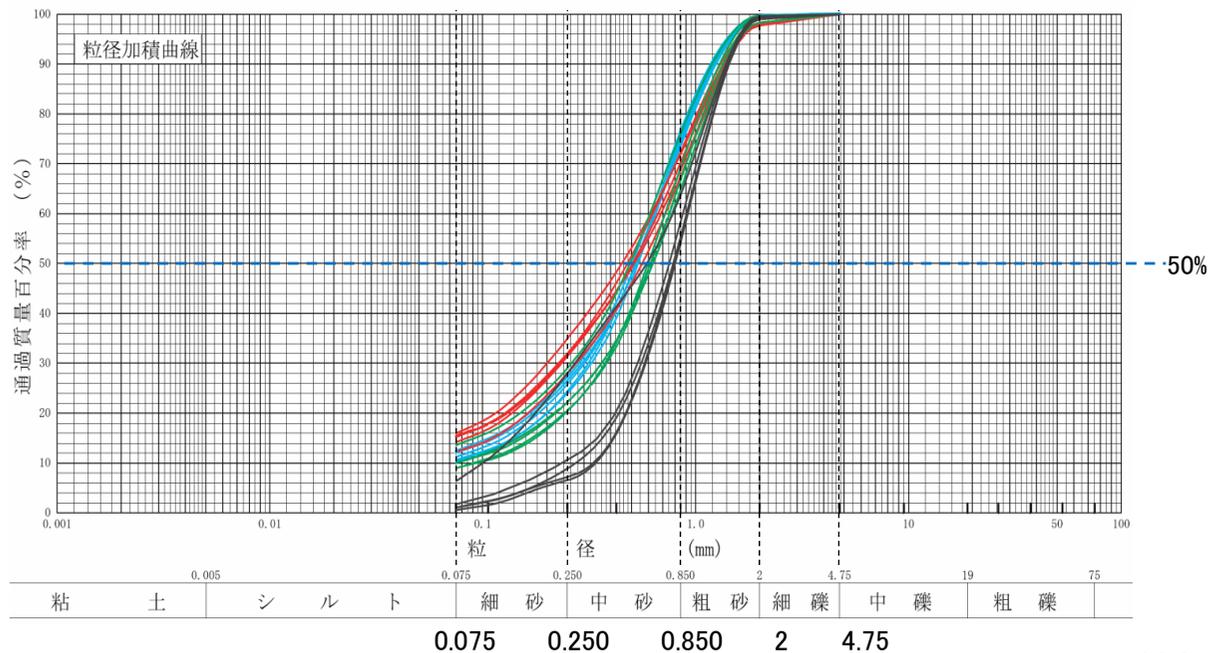
敷地と大洗研究開発センター(HTR)地点で確認した赤城鹿沼テフラ(Ag-KP)の最大粒径はともに約4.8mmであり、山元(2013a)に示される赤城鹿沼テフラの最大等粒径線図と調和的である。
 なお、中央粒径はHTR地点で約0.5mm~0.6mm、敷地で約0.6mm~0.8mmとなり、敷地内のAg-KPの方が粒径が大きい傾向が認められる。



第17図 赤城鹿沼テフラ(Ag-KP)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。Ag = 赤城火山；Hu = 鷲ヶ岳火山；Kn = 鬼怒沼火山；Ns = 那須火山；Nt = 男体火山；TK = 高原火山。

山元(2013a)に加筆

	最大粒径	中央粒径
敷地	4.75mm	約0.6mm~0.8mm
HTR地点	4.75mm	約0.5mm~0.6mm

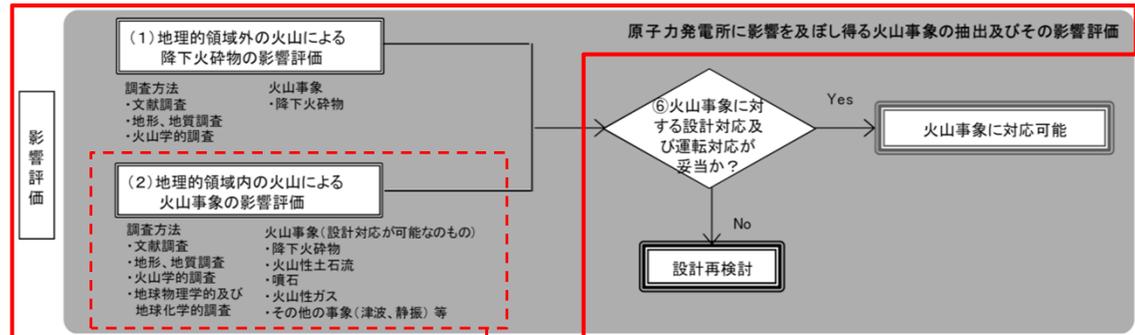


4. 原子力発電所に影響を及ぼし得る火山事象の抽出及びその影響評価

4.2 地理的領域内の火山による火山事象の影響評価(概要)

第432回審査会合
資料1 再掲

原子力発電所に影響を及ぼし得る可能性のある火山事象のうち、降下火砕物以外の火山性土石流、噴石、火山ガス、その他の火山事象等について検討した。



原子力発電所に影響を与える可能性のある火山事象及び位置関係

火山事象	潜在的に影響を及ぼす特性	原子力発電所との位置関係
1. 降下火砕物	静的な物理的負荷、気中及び水中の研磨性及び腐食性粒子	注2
2. 火砕物密度流：火砕流、サージ及びブラスト	動的な物理的負荷、大気の過圧、飛来物の衝撃、300℃超の温度、研磨性粒子、毒性ガス	160km
3. 溶岩流	動的な物理的負荷、洪水及び水のせき止め、700℃超の温度	50km
4. 岩屑なだれ、地滑り及び斜面崩壊	動的な物理的負荷、大気の過圧、飛来物の衝撃、水のせき止め及び洪水	50km
5. 火山性土石流、火山泥流及び洪水	動的な物理的負荷、水のせき止め及び洪水、水中の浮遊粒子	120km
6. 火山から発生する飛来物（噴石）	粒子の衝突、静的な物理的負荷、水中の研磨性粒子	10km
7. 火山ガス	毒性及び腐食性ガス、酸性雨、ガスの充満した湖、水の汚染	160km
8. 新しい火口の開口	動的な物理的負荷、地盤変動、火山性地震	注3
9. 津波及び静振	水の氾濫	注4
10. 大気現象	動的過圧、落雷、ダウンバースト風	注4
11. 地殻変動	地盤変位、沈下又は隆起、傾斜、地滑り	注4
12. 火山性地震とこれに関連する事象	継続的微動、多重衝撃	注4
13. 熱水系及び地下水の異常	熱水、腐食性水、水の汚染、氾濫又は湧昇、熱水変質、地滑り、カルスト及びサーモカルストの変異、水圧の急変	注4

注1：噴出中心と原子力発電所との距離が、表中の位置関係に記載の距離より短ければ、火山事象により原子力発電所が影響を受ける可能性があるものとする。

注2：降下火砕物に関しては、原子力発電所の敷地及び敷地付近の調査から求められる単位面積あたりの質量と同等の火山灰等が降下するものとする。

注3：新火口の開口については、原子力発電所の運用期間中に、新火口の開口の可能性を検討する。

注4：火山活動によるこれらの事象は、原子力発電所との位置関係によらず、個々に検討を行う。

評価結果

原子力発電所に影響を及ぼし得る可能性のある火山事象のうち、降下火砕物以外の火山性土石流、噴石、火山ガス、その他の火山事象等について検討した結果は以下に示すとおり。

火山事象	対象火山	評価結果
火山性土石流、火山泥流及び洪水	半径120km内の 発電所に影響を及ぼし得る火山 [4火山]	敷地は久慈川流域に位置し、各火山の山麓の河川の流域には含まれず、久慈川流域と各火山の位置する流域の間には、八溝山地が分布し那珂川と発電所の間には、那珂台地が分布している。また、敷地近傍において火山性土石流に伴う堆積物は確認されない。以上のことから、これらの火山事象が発電所に影響を及ぼす可能性は十分に小さい。
火山から発生する飛来物 (噴石)	半径10km内の 発電所に影響を及ぼし得る火山 [なし]	—
火山ガス	半径160km内の 発電所に影響を及ぼし得る火山 [13火山]	敷地は太平洋に面する那珂台地に位置し、火山ガスが敷地に滞留する地形ではないことから、火山ガスが発電所に影響を及ぼす可能性は十分に小さい。
その他の火山事象 ・火山活動に起因する大気現象 ・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 ・静振	半径160km内の 発電所に影響を及ぼし得る火山 [13火山]	敷地は火山フロントより前弧側(東方)に位置すること、また対象火山と十分な離隔があることから、これらの火山事象が発電所に影響を及ぼす可能性は十分に小さい。

※噴出中心と原子力発電所との距離が、記載の距離より短ければ、火山事象により原子力発電所が影響を受ける可能性があるものとする。(火山影響評価ガイド)

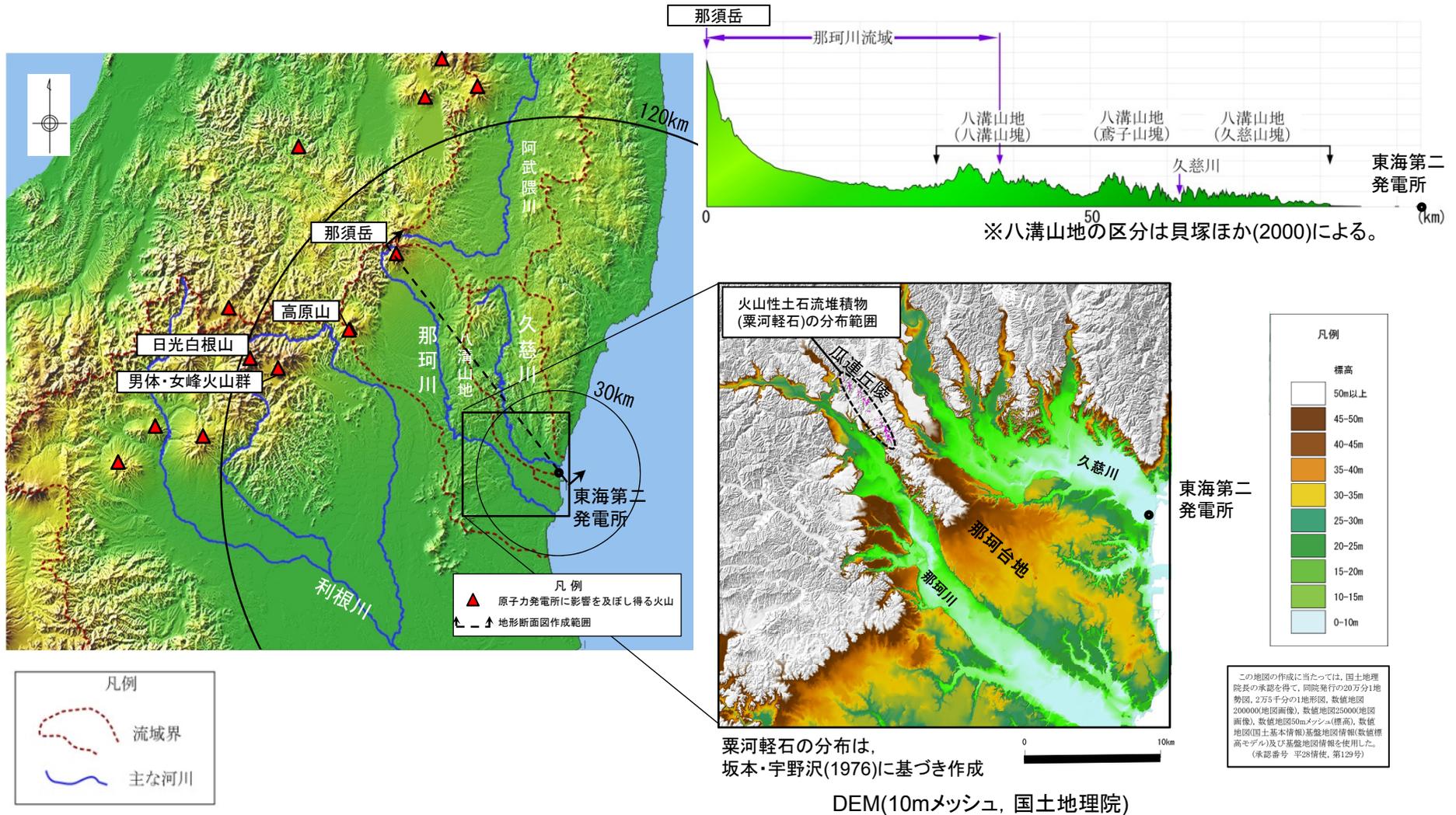


降下火砕物以外に影響を評価すべき火山事象はない。

火山性土石流、火山泥流及び洪水

火山性土石流、火山泥流及び洪水について、原子力発電所に影響を及ぼし得る13火山のうち、敷地から120kmの範囲内にある4火山を対象に評価を行った。

- 敷地は久慈川流域に位置し、各火山の山麓の河川の流域には含まれない。
- 久慈川流域と各火山の流域の間には八溝山地が分布し、那珂川と発電所の間には、那珂台地が分布している。
- 文献調査の結果、火山性土石流堆積物(粟河軽石)は西方約20kmの那珂川に沿う瓜連丘陵に一部分布するが、敷地近傍及び久慈川沿いには分布していない。



以上のことから、火山性土石流、火山泥流及び洪水が発電所に影響を及ぼす可能性は十分に小さい。

5. まとめ

【原子力発電所に影響を及ぼし得る火山の抽出】

- ・敷地を中心とする半径160kmの範囲には32の第四紀火山が位置する。
- ・敷地を中心とする半径160kmの範囲の第四紀火山(32火山)について、完新世の活動の有無、将来の活動可能性の検討を行い、原子力発電所に影響を及ぼし得る火山として、以下の13火山を抽出した。
〔 高原山, 那須岳, 男体・女峰火山群, 日光白根山, 赤城山, 燧ヶ岳, 安達太良山, 笹森山, 磐梯山, 沼沢, 子持山, 吾妻山, 榛名山 〕

【抽出された火山の火山活動に関する個別評価】

- ・抽出された火山の敷地からの離隔及び敷地周辺における第四紀の火山活動の特徴の検討結果から、設計対応不可能な火山事象(火砕物密度流, 溶岩流, 岩屑なだれ他, 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に小さい。
- ・過去最大規模の噴火を考慮しても発電所に影響を及ぼさないと判断できることから、モニタリングの対象となる火山はない。

【原子力発電所に影響を及ぼし得る火山事象の抽出】

- ・発電所に影響を及ぼし得る火山事象のうち、降下火砕物に関する評価の結果、発電所への降下火砕物の影響評価に用いる条件を以下のとおり設定する。

項目	設定値
層厚	50cm
粒径	8mm以下
密度	乾燥状態: 0.3g/cm ³ 湿潤状態: 1.5g/cm ³

- ・火山性土石流, 火山から発生する飛来物(噴石), 火山ガス及びその他の火山事象のうち、発電所への影響を評価すべき事象はない。

6. 参考文献

- 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
- 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)
- 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・貫入活動データベース. 産総研地質調査総合センター, https://gbank.gsj.jp/quaternary/index_qvir.php
- 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
- 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
- 弦巻賢介(2012):東北日本弧南部,高原火山における山体形成史とマグマ供給系の発達, 日本火山学会講演予稿集, p.56
- 鈴木毅彦(1993):北関東那須野原周辺に分布する指標テフラ層, 地学雑誌, 102, p.73-90
- 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
- 奥野充, 守屋以智雄, 田中耕平, 中村俊夫(1997):北関東, 高原火山の約6500cal yr BPの噴火, 火山, 42, p.393-402
- 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
- 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
- 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
- 鈴木毅彦, 藤原治, 壇原徹(2004):東西南部, 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
- 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
- 山元孝広(1997):テフラ層序から見た那須茶臼岳火山の噴火史, 地質学雑誌, 103, p.676-691
- 鈴木毅彦(1992):那須火山のテフロクロロジー, 火山, 37, p.251-263
- 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
- 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
- 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, pp.49-60.
- 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
- 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
- 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
- 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
- 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
- 村本芳英(1992):日光火山群東方地域に分布する中・後期更新世テフラー日光火山群の噴火史一, 静岡大学地球科学研究報告, 18, p.59-91
- 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

6. 参考文献

- 鈴木毅彦, 奥野 充, 早川由紀夫(1994): テフラからみた日光火山群の噴火史, 月刊地球, 16, p.215-221
- 佐々木 実(1994): 日光火山群の岩石学, 月刊地球, Vol16, p.221-230
- 石崎泰男, 森田考美・岡村裕子・小池一馬・宮本亜里沙・及川輝樹(2014): 男体火山の最近17000年間の噴火史, 火山, 59, 3, pp.185-20
- 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
- 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
- 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
- 奥野 充, 中村俊夫, 守屋以智雄(1993): 那須・高原・日光白根火山の完新世テフラの加速器¹⁴C年代, 日本火山学会講演予稿集, P06, p.92
- 高橋正樹, 小堀容子, 矢島有紀子(1995): 日光白根火山下マagma供給システムの岩石学的モデル, 月刊地球, 17, p.113-119
- 佐々木 実, 橋野 剛, 村上 浩(1993): 日光火山群, 日光白根火山および三ツ岳火山の地質と岩石, 弘前大学理学部地球科学科報告, 40, p.101-117(1993)
- 気象庁編(2013): 日本活火山総覧(第4版)
- 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>
- 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
- 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
- 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
- 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
- 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
- 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
- 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
- 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
- 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
- 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
- 鈴木毅彦(1990): テフロクロノロジーからみた赤城火山最近20万年間の噴火史, 地学雑誌, 99, 2(1990), p.60-75
- 青木かおり, 入野智久, 大場忠道(2008): 鹿島沖海底コアMD01-2421の後期更新世テフラ層序, 第四紀研究, 47, (6), p.391-407
- 山元孝広(2014a): 赤城火山の噴火履歴の再検討と定量化, 日本火山学会講演予稿集
- 高橋正樹, 関 慎一郎, 鈴木洋美, 竹本弘幸, 長井雅史, 金丸龍夫(2012): 赤城火山噴出物の全岩化学組成-分析データ381個の総括-, 日本大学文理学部自然科学研究所研究紀要, 47, p.341-400
- 大森昌衛編(1986): 日本の地質3 関東地方, 共立出版, 335p
- 富田平四郎, 中野政詩・鈴木敬(1994): 地域, 深さによる鹿沼土の物理的構成と各種物理性の差異について, 土壤の物理性, 第69号, p.11-21(1994)
- 宇井 忠英編(1997): 火山噴火と災害, 東京大学出版会
- 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, pp.140
- 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.
- 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, pp.132-144.
- 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
- 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

6. 参考文献

- 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, 第50巻, 第12号, p.743-767, (1999)
- 早川 由紀夫・新井 房夫・北爪 智啓(1997): 燧ヶ岳火山の噴火史, 地学雑誌, 106, p.660-664
- 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
- 藤縄明彦・鎌田光春(2005): 安達太良火山の最近25万年間における山体形成史とマグマ供給系の変遷, 岩石鉱物科学, 34, p.35-58
- 藤縄明彦・林信太郎・梅田浩司(2001): 安達太良火山のK-Ar年代: 安達太良火山形成史の再検討, 火山, 46, p.95-106
- 山元孝広・阪口圭一(2000): テフラ層序からみた安達太良火山, 最近約25万年間の噴火活動, 地質学雑誌, 106, p.865-882
- 長谷川健・藤縄明彦・伊藤太久(2011): 磐梯・吾妻・安達太良: 活火山ランクBの三火山, 地質学雑誌, 117, p.33-48
- 阪口圭一(1995): 5万分の1地質図幅「二本松地域の地質」, 産業技術総合研究所地質調査総合センター, p.66
- 長橋良隆・木村裕司・大竹二男・八島隆一(2004): 福島市南西部に分布する鮮新世「笹森山安山岩」のK-Ar年代, 地球科学, 58, p.407-412
- 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, 第44巻(1999), p.233-249
- 三村弘二・中村洋一(1995): 磐梯山の地質形成史と岩石, 磐梯火山, p.87-101(1995)
- 三村弘二(1994): 磐梯火山の放射年代—概報—, 地質調査所月報, 第45巻, 第10号, p.565-571, 1994
- 山口尚志(1981): 武尊火山の地質, 地質学雑誌, 87, p.823-832
- 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
- 山元孝広(2014b): 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
- 山元孝広(1995): 沼沢火山における火砕流噴火の多様性: 沼沢湖および水沼火砕堆積物の層序, 火山, 40, p.67-81
- 山元孝広(2003): 東北日本, 沼沢火山の形成史: 噴出物層序, 噴出年代及びマグマ噴出量の再検討, 地質調査研究報告, 54, p.323-340
- 飯塚義之(1996): 子持火山の地質と活動年代, 岩鉱, 91, p.73-85
- 新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)(1991): 磐梯地域火山地質図及び地熱地質編図説明書, 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③, 80p
- 高橋正樹・小林哲夫 編(1999): 吾妻火山—雄大な爆裂カルデラと中央火口丘を歩く—, 東北の火山 フィールドガイド 日本の火山④, 築地書館, 89-104p
- 山元孝広(2005): 福島県, 吾妻火山の最近7千年間の噴火史: 吾妻—浄土平火山噴出物の層序とマグマ供給系, 地質学雑誌, 111, p.94-110
- 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)
- 赤石和幸・梅田浩司(2002a): 鳥海火山帯南部地域の火山活動(2)—浅草火山のk-Ar年代—, 日本地質学会講演要旨, p.297-297
- 浅草火山団体研究グループ(1991): 浅草火山の地質, 地球科学, 45, p.101-112
- 下司信夫(2013): 詳細火山データ集: 榛名火山, 日本の火山, 産総研地質調査総合センター(https://gbank.gsj.jp/volcano/Act_Vol/haruna/index.html)
- Soda, Tsutomu.(1996): Explosive activities of Haruna volcano and their impacts on human life in the sixth century A.D., Geograph.Rep. Tokyo Metropolitan Univ, 31, p.37-52
- 山崎正男(1958): 日光火山群, 地球科学, 第36号(1958年2月), p.27-35
- 山元孝広(2011): 磐梯火山最初期噴出物におけるマグマ組成の時間変化: 裏磐梯高原コアの化学分析結果, 火山, 第56巻(2011), 第6号, p.189-200
- 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, 第47巻, 第6号, p.335-359, 1996

6. 参考文献

- 小荒井衛・津沢正晴・星野実(1995): 磐梯山の地形発達史, 「火山地域における土砂災害発生予測手法の開発に関する国際共同研究」「岩屑流発生場に関する研究」分科会研究成果, 磐梯火山, p.135-143
- 山元孝広, 長谷部忠夫(2014): 福島県只見町叶津の埋没化石林の放射性炭素年代: 沼沢火山水沼噴火年代の再検討, 地質学雑誌, 第120巻, 第1号, pp.1-9
- 早田 勉(1989): 6世紀における榛名火山の2回の噴火とその災害, 第四紀研究, 27(4), p.297-312
- 山元孝広(2013b): 東茨城台地に分布する更新統の新層序とMIS5-7海面変化との関係: 地下地質とテフラ対比による茨城層, 見和層, 夏海層, 笠神層の再定義, 地質調査所報告, 第64巻, 第9/10号, p.225-249, 2013
- 町田洋, 新井房夫(2011): 新編火山灰アトラスー日本列島とその周辺, 東京大学出版
- 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
- 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
- 鈴木毅彦(2001): 海洋酸素同位体ステージ5-6境界に降下した飯縄上樽テフラ群とその編年学的意義, 第四紀研究, 40(1), p.29-41
- 鈴木毅彦, 早川由紀夫(1990): 中期更新世に噴出した大町Apmテフラ群の層位と年代, 第四紀研究, 29(2), p.105-120
- 鈴木毅彦, 檀原徹, 藤原治(2001): 東北日本の大規模火砕流は広域テフラを生産したか?, 月間地球, Vol23, No9, p.610-613
- 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
- 赤石和幸, 梅田浩司(2002b): 新潟県飯士火山の形成史とK-Ar年代(演旨) 日本鉱物学会年会, 日本岩石鉱物鉱床学会学術講演会講演要旨集, PP. 304-304 .
- 及川輝樹(2003): 飛騨山脈の隆起と火成活動の時空的関連, 第四紀研究, 42(3), p.141-156
- Nagaoka, Shinji(1988): The late quaternary tephra layers from the caldera volcanoes in and around Kagoshima Bay, southern Kyushu, Japan, 23, p.49-122
- 三好雅也, 長谷中利昭, 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因果関係について, 火山, 第50巻(2005), 第5号, p.269-283
- 宮縁育夫, 星住英夫, 高田英樹, 渡辺一徳, 除 勝(2003): 阿蘇火山における過去約9万年間の降下軽石堆積物, 火山, 第48巻(2003), 第2号, p.195-214
- 須藤茂, 猪俣隆行, 佐々木寿, 向山栄(2007): わが国の降下火山灰データベース作成, 地質調査所研究報告, 第58巻, 第9/10号, p.261-321
- 守屋以智雄(1983): 日本の地形, 東京大学出版会, 135p
- 米倉伸之(2001): 日本の地形<1>総説, 東京大学出版会, 349p
- 山元孝広(2014c): 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, 産総研地質調査総合センター
- Zhao Dapeng, Wei Wei, Nishizono Yukihisa, Inakura Hirohito(2011): Low-frequency earthquakes and tomography in western Japan: Insight into fluid and magmatic activity, Journal of Asian Earth Sciences, 42, p.1381-1393
- 東宮昭彦(1997): 実験岩石学的手法で求めるマグマ溜まりの深さ, 月刊地球, Vol19, No11, p.720-724
- 及川輝樹, 鈴木雄介, 千葉達郎(2014): 御嶽山の噴火ーその歴史と2014年噴火, 科学, 岩波書館, pp.1218-1225.
- 竹内 誠, 中野 俊, 原山 智, 大塚 勉(1998): 木曾福島地域の地質, 地域地質研究報告(5万分の1地質図幅), 地質調査所, 94p.
- 木村純一(1993): 後期更新世の御岳火山: 火山灰層序と火山層序学を用いた火山活動史の再検討, 地球科学, 47, pp.301-321.
- 高橋正樹, 市川寛海, 金丸龍夫, 安井真也, 間瀬口輝浩(2013): 浅間黒斑火山崩壊カルデラ壁北部仙人岩付近のプロキシマル火砕岩相ー牙溶岩グループの火山角礫岩・凝灰角礫岩および仙人溶岩グループの溶結火砕岩ー, 日本大学文学部自然科学研究所研究紀要, 48, pp.141-168. 高橋正樹・安井真也(2013): 浅間前掛火山のプロキシマル火山地質学及び巡検案内書ー浅間前掛火山黒豆河原周辺の歴史時代噴出物ー, 火山, 58, pp.311-328.
- 気象庁(2015): 浅間山の火山活動解説資料, 火山活動解説資料(平成27年6月24日18時30分), 気象庁地震火山部火山監視・情報センター, pp.1-10.

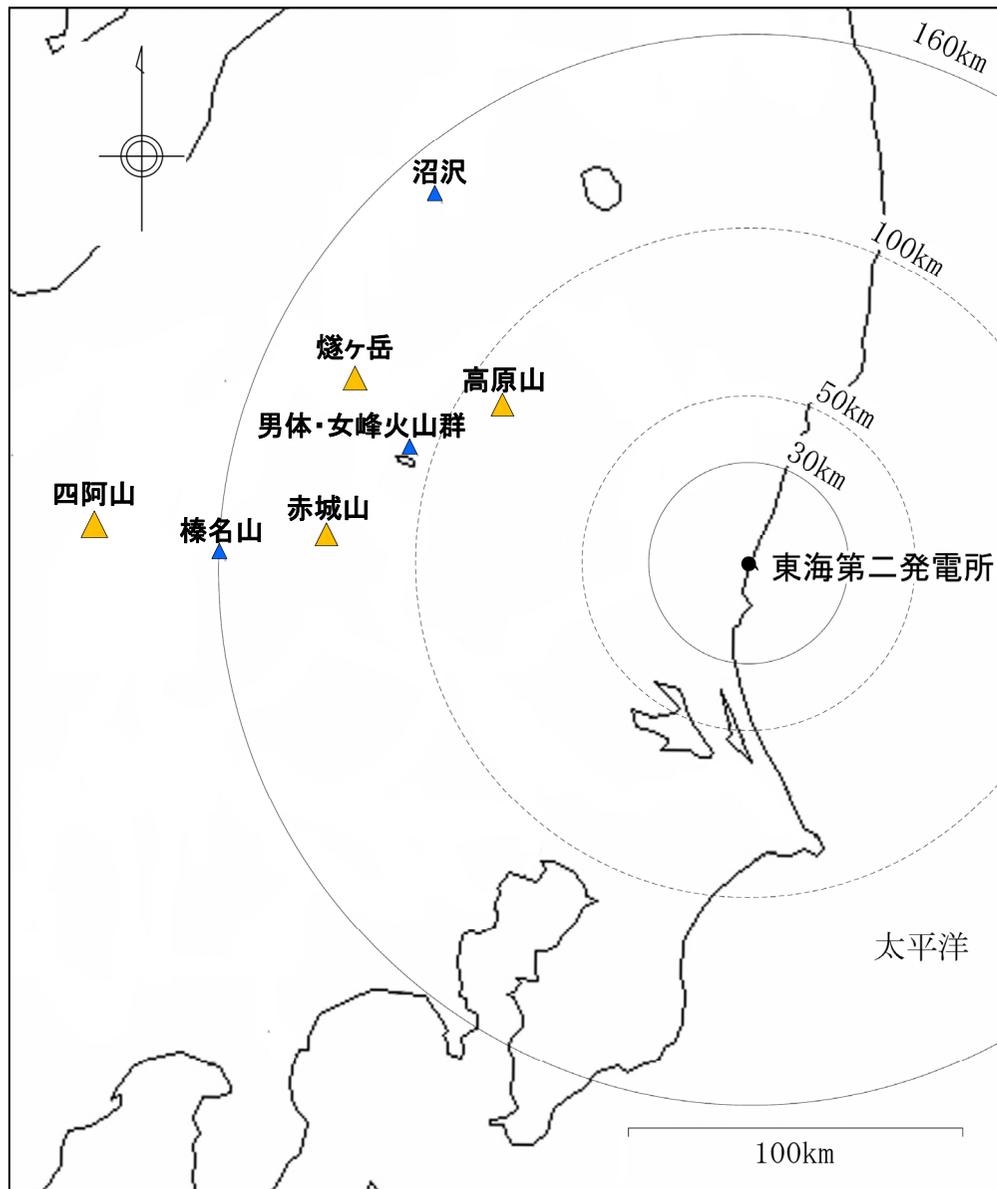
6. 参考文献

- 気象庁(2015):浅間山の火山活動解説資料, 火山活動解説資料(平成27年6月24日18時30分), 気象庁地震火山部火山監視・情報センター, pp.1-10.
- 長井雅史, 高橋正樹(2008):箱根火山の地質と形成史, 神奈川県立博物館研究調査報告(自然), 13, pp.25-42.
- 鈴木毅彦(1989):常盤海岸南部における更新世後期の段丘と埋没谷の形成, 地理学評論, 62, A-7, p.475-494, 1989
- 早津賢二, 新井 房夫, 小島 正巳, 大場 孝信(2008):妙高火山群 --多世代火山のライフヒストリー--,424p
- 原山 智(1990):上高地地域の地質, 地域地質研究報告, 5万分の1地質図幅, 地質調査所, 175p
- 鈴木毅彦(2000):飛騨山脈貝塚給源火道起源の貝塚上宝テフラを用いた中期更新世前半の地形面編年, 地理学評論, 73A-1, pp.1-25
- 工藤 崇, 檀原徹, 山下透, 植木岳雪, 佐藤大介(2011):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, pp.144-145
- 工藤 崇, 宝田晋治, 佐々木実(2004):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, 第110巻, 第5号, pp. 271-289, 2004年5月
- 高橋正樹(1995):大規模珪長質火山活動と地殻歪速度, 火山, 第40巻(1995), p.33-42
- 大井信三, 西連地信男, 横山芳春, 安藤寿男(2013):常陸台地における下総層群木下層のテフラ層序と広域対比, 地質学雑誌, 第119巻, 第7号, p.488-505, 2013年7月
- 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, pp.109-126.
- 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.
- 気象庁高層気象台HP http://www.jma-net.go.jp/kousou/obs_second_div/sonde/sonde04.html(2016.1.25取得)
- 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
- 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
- Naomichi Miyaji, Ayumi Kan'no, Tatsuo Kanamaru, Kazutaka Mannen (2011): High-resolution reconstruction of the Hoei eruption (AD 1707) of Fuji volcano, Japan, Journal of Volcanology and Geothermal Research, 207, pp.113-129.
- 古川竜太, 中川光弘(2010):樽前火山地質図, 産業技術総合研究所地質調査総合センター.
- 貝塚爽平, 小池一之, 遠藤邦彦, 山崎晴雄, 鈴木毅彦編(2000):日本の地形4 関東・伊豆小笠原, 東京大学出版会
- 坂本亨, 宇野沢昭(1976):茨城県瓜連丘陵の第四系と久慈川・那珂川の河谷発達史, 地質調査所月報, 第27巻, 第10号p.655-664, 1976
- 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
- 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

参考

[参考1] 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と給源火山の位置

• 原子力発電所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給源火山について、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結果、VEI5の規模が最大であり、その内、噴出量が最も大きいのは赤城山である。



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km³)
高原山	高原戸室山2テフラ	東南東 (約88km)	5	1 (山元(2013))
男体・女峰火山群	男体今市テフラ	東南東 (約105km)	4	0.8 (山元(2013))
赤城山	赤城鹿沼テフラ	東 (約127km)	5	5 (山元(2013))
燧ヶ岳	燧ヶ岳七入テフラ	東南東 (約130km)	5	4 (山元(2012))
沼沢	沼沢芝原テフラ	南東 (約143km)	4	0.2 (山元(2012))
榛名山	榛名八崎テフラ	東 (約157km)	4	0.5 (山元(2013))
四阿山	四阿菅平2テフラ	東 (約197km)	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

[参考2] 広域テフラの分布①

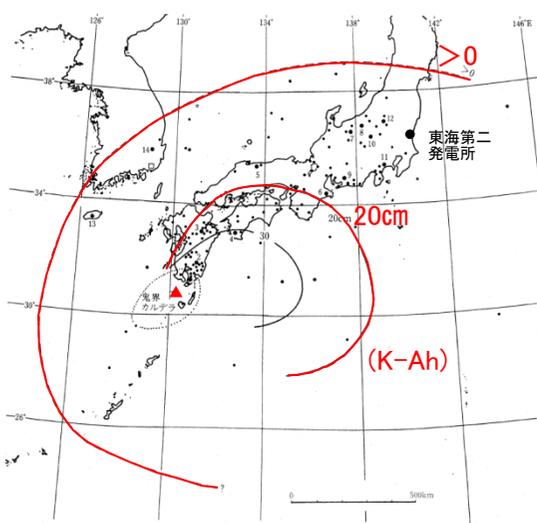


図 2.1-2 鬼界アカホヤ火山灰 (K-Ah) の等層厚線図と主な産出地点。
点線内は火砕流堆積物 (K-Ky) の分布範囲を示す。

鬼界アカホヤテフラの分布
(町田・新井(2011))

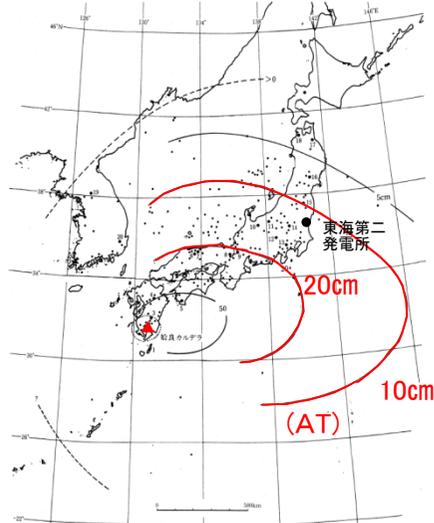


図 2.1-6 始良Tn火山灰 (AT) の等層厚線図と主な産出地点。
点線内は大戸火砕流堆積物 (A-Ito) の分布範囲を示す。

始良Tnテフラの分布
(町田・新井(2011))

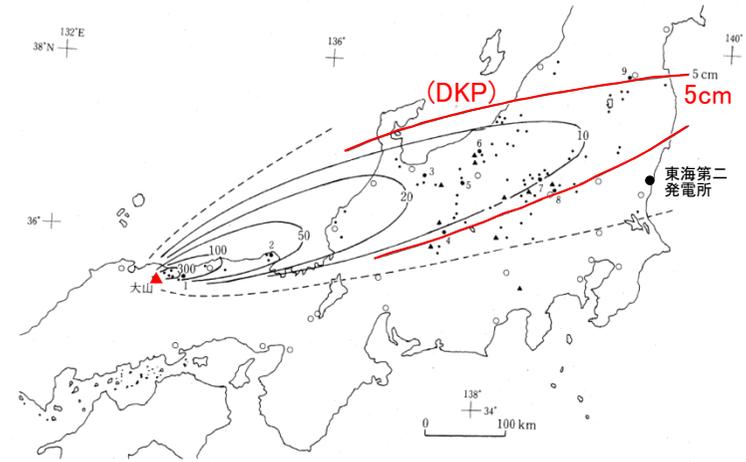


図 2.2-2 大山倉吉テフラ (DKP) の等層厚線図と主な産出地点。

大山倉吉テフラの分布
(町田・新井(2011))

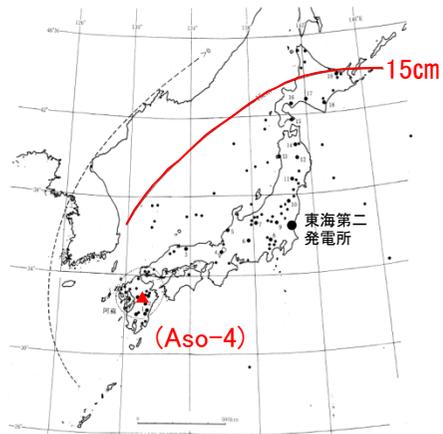


図 2.1-11 阿蘇4火山灰 (Aso-4) の等層厚線図と主な産出地点。
点線内は阿蘇4火砕流堆積物 (Aso-4 (pf)) の分布範囲を示す。

阿蘇4テフラの分布
(町田・新井(2011))

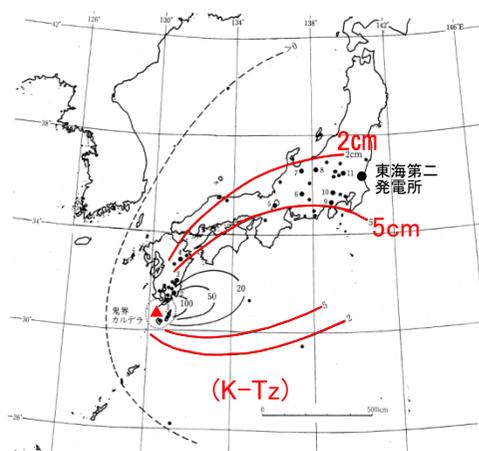


図 2.1-12 鬼界葛原火山灰 (K-Tz) の等層厚線図と主な産出地点。

鬼界葛原テフラの分布
(町田・新井(2011))



図 2.1-15 阿蘇3テフラ (Aso-3) と阿蘇3テフラ (Aso-3 (pf)) の分布と主な産出地点。
● Aso-3、▲ Aso-3 (pf)、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 (1983) に加筆。

阿蘇3テフラの分布
(町田・新井(2011))

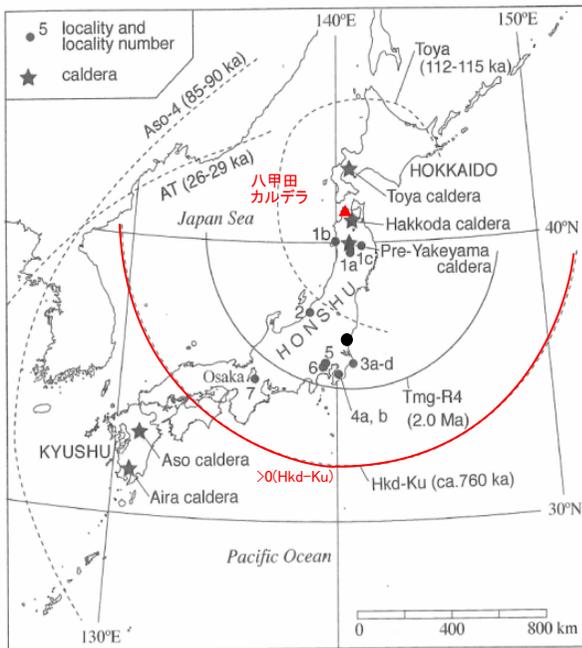
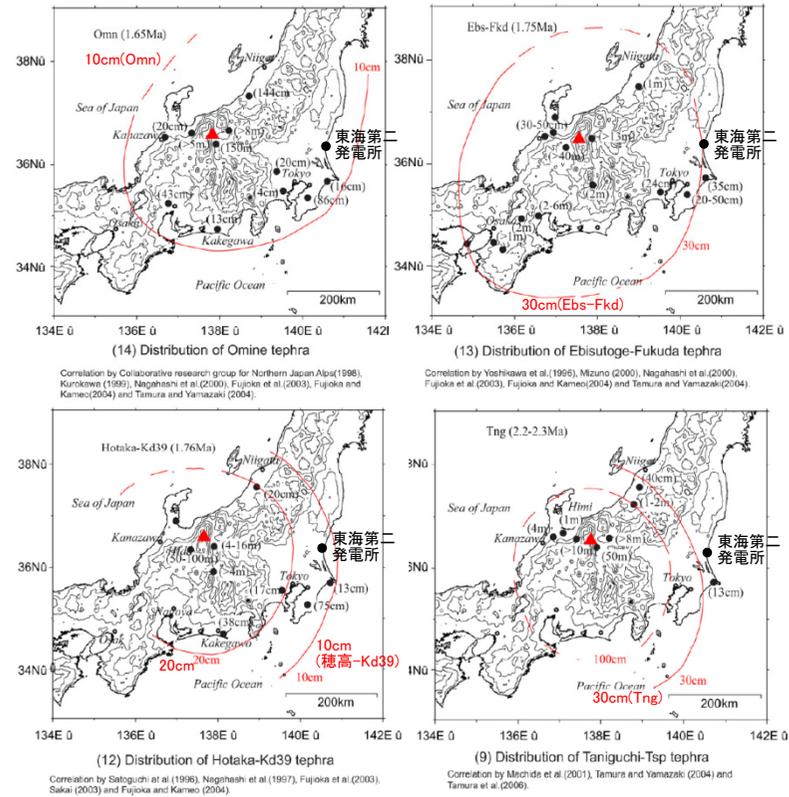


Fig. 1. Map of the Japanese islands and their surrounding area showing distributions of Tmg-R4 (solid line) and four widespread tephtras (broken lines): Toya (112-115 ka), Aso-4 (85-90 ka), AT (26-29 ka) and Hkd-Ku (760 ka) Tephtras (modified from Suzuki *et al.*, 2005). Distributions of Toya, Aso-4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

八甲田1テフラの分布
(鈴木・中山(2007))



大峰テフラ, 恵比寿峠福田テフラ,
丹生川テフラ, 谷口テフラの分布
(Tamura *et al.* (2008))

[参考3] 原子力発電所に影響を及ぼし得る火山の抽出(申請時からの変更点)(1/2)

第432回審査会合
資料1 再掲

活動年代は、中野ほか(2013)も含め、それ以降に公表された第四紀火山に関するデータを収集・整理した「第四紀噴火・貫入岩体データベース」(西来ほか(2016))を基本にして評価した。

No.	火山名※ ¹	敷地からの距離(km)	火山の形式※ ²	活動年代(千年前)	全活動期間(千年)	最後の活動からの期間(千年前)	原子力発電所に影響を及ぼし得る火山(13火山)	
							完新世に活動を行った火山(11火山)	将来の活動可能性が否定できない火山(2火山)
1	高原山	88	複成火山, 溶岩ドーム	300 ~	300	6.5	○	-
2	塩原カルデラ	90	カルデラー火砕流	350 ~ 300	50	300	×	×
3	那須岳	93	複成火山	500 ~	500	AD1963	○	-
4	塔のへつりカルデラ群	99	カルデラー火砕流, 溶岩ドーム	1400 ~ 1100 1000* ¹	300 400	1100 1000	×	×
5	二岐山	104	複成火山, 溶岩ドーム	140 ~ 90	50	90	×	×
6	男体・女峰火山群	105	複成火山, 溶岩ドーム	900 ~	900	7	○	-
7	会津布引山	109	複成火山	1400	-	1400	×	×
8	根名草山	116	溶岩ドーム	300	-	300	×	×
9	日光白根山	116	溶岩流及び小型楕状火山, 溶岩ドーム	20 ~	20	AD1890	○	-
10	皇海山	116	複成火山	1600 ~ 900	700	900	×	×
11	錫ヶ岳	117	複成火山?	2700 ~ 2000 2100* ¹	700 600	2000 2100	×	×
12	桧和田カルデラ	118	カルデラー火砕流, 溶岩ドーム	3000 ~ 2600	400	2600	×	×
13	鬼怒沼	120	溶岩流, 火砕流	240 ~ 200 240* ¹	40 -	200 240	×	×
14	四郎岳	122	複成火山?	2500 ~ 2200 2200* ¹	300 -	2200 2200	×	×
15	沼上山	124	複成火山	1100	-	1100	×	×
16	赤城山	127	複成火山-カルデラ, 溶岩ドーム	300 ~	300	AD1251	○	-

※1, 2 火山名, 火山の形式は中野ほか(2013)に基づく。

・申請時の評価から変更あるものについては下段赤字で記載。
*1 西来ほか(2016)

○:該当する ×:該当しない
-:検討対象外

[参考3] 原子力発電所に影響を及ぼし得る火山の抽出(申請時からの変更点)(2/2)

第432回審査会合
資料1 再掲

No.	火山名※1	敷地からの距離(km)	火山の形式※2	活動年代※3(千年前)	全活動期間(千年)	最後の活動からの期間(千年前)	原子力発電所に影響を及ぼし得る火山(13火山)	
							完新世に活動を行った火山(11火山)	将来の活動可能性が否定できない火山(2火山)
17	博士山	127	複成火山	2800 ~ 2500	300	2500	×	×
18	燧ヶ岳	130	複成火山	160 ~	160	AD1544	○	-
19	アヤマ平	131	複成火山	1600	-	1600	×	×
20	安達太良山	133	複成火山, 溶岩ドーム	550 ~	550	AD1900	○	-
21	笹森山	133	複成火山?	3700 ~ 2200 1800*1	1500 1900	2200 1800	×	× ○
22	磐梯山	135	複成火山	700 ~	700	AD1888	○	×
23	上州武尊山	137	複成火山	1200 ~ 1000	200	1000	×	×
24	猫魔ヶ岳	137	複成火山	1000 ~ 800 1430*2	200 1030	800 400	×	×*4
25	砂子原カルデラ	137	カルデラ, 溶岩ドーム	290 ~ 220	70	220	×	×
26	奈良俣カルデラ	142	カルデラー火砕流	2100	-	2100	×	×
27	沼沢	143	溶岩ドーム, カルデラ	110 ~	110	5.4	○	-
28	子持山	145	複成火山, 溶岩ドーム	900 ~ 200	700	200	×	○
29	吾妻山	147	複成火山, 溶岩流及び小型楯状火山, 火砕丘	1300 ~	1300	AD1977	○	-
30	小野子山	150	複成火山	1300 ~ 1200	100	1200	×	×
31	浅草岳	156	複成火山	1600 ~ 1700*3 1500*3	- 200	1600 1500	×	×
32	榛名山	157	複成火山-カルデラ, 溶岩ドーム, 火砕丘	500 ~	500	AD560-620 (6世紀後半~7世紀初頭)	○	-

※1, 2 火山名, 火山の形式は中野ほか(2013)に基づく。

・申請時の評価から変更あるものについては下段赤字で記載。
*1 山元(2015)
*2 三村(2002)
*3 西来ほか(2016)
*4 最後の活動からの経過期間が活動期間中の最大休止期間よりも長いとみなせる火山として評価した。

○:該当する ×:該当しない
-:検討対象外

[参考4] 白河火砕流堆積物群について

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、首都大学東京の鈴木教授他によって、塔のへつりカルデラ群起源の火砕流堆積物群(白河火砕流堆積物群)の層序、年代等に関する新たな情報が紹介された。

- 白河火砕流堆積物群の露出が良好な会津盆地西縁丘陵において、白河火砕流堆積物群の詳細な記載岩石学的特性を明らかにし、層序と火砕流に伴う降下火山灰との対比について検討した。
- 下位から、隈戸、赤井、芦野、西郷、勝方(新称)、天栄からなる6枚の火砕流を認定した。
- 隈戸、赤井、芦野、勝方の火砕流堆積物に対比される降下火山灰が関東、新潟地域等に分布することを確認し、それらを白河隈戸(Sr-Kmd)、白河赤井-Kd18(Sr-Aki-Kd18)、白河芦野-Kd8(Sr-Asn-Kd8)、白河勝方-U8(Sr-Kc-U8)と定義した。
- これらの噴出年代は、微化石層序や古地磁気極性から、Sr-Kmd:1.542-1.504Ma, Sr-Aki-Kd18:1.522-1.460Ma, Sr-Asn-Kd8:1.219Ma, Sr-Kc-U8:0.922-0.910Maと判断される。天栄火砕流を除く、白河火砕流堆積物群の各噴火の総噴出量(カルデラ外の火砕流堆積物及び降下火山灰)は38-173km³となり、累計体積は498km³(199DRE km³)である。
- 各噴火の噴火間隔は30万年~8万年前と一定でない。
- この年代を考慮した場合の塔のへつりカルデラ群の全活動年代は0.632-0.582Ma、最後の活動終了からの期間は0.910Maとなる。

塔のへつりカルデラ群の活動履歴(青字:発表内容を加筆)

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(1999) 吉田・高橋(2010) 村田・鈴木(2011) Yamamoto(2011) 中野ほか(2013)
(922-910 ka)	—	勝方火砕流※ ¹ ⇒Sr-Kc-U8	不明	
(1219 ka)	成岡カルデラ	西郷火砕流	43	
	—	金勝寺降下火砕堆積物 Kd8	>9	
(1522-1460 ka)	塔のへつりカルデラ	南倉沢火砕流, 芦野火砕流 芦野降下軽石層 等 ⇒Sr-Asn-Kd8	>161.5	
	—	十日市降下火砕堆積物 赤井火砕流 ⇒Sr-Aki-Kd18	>7	
(1542-1504 ka) 1400 ka	小野カルデラ	隈戸火砕流 隈戸降下軽石層 等 ⇒Sr-Kmd	>60.5	

【塔のへつりカルデラ群の活動性評価】

今回示された噴出年代を考慮しても、全活動期間が最後の活動終了からの期間よりも短いことから将来の活動可能性のない火山とみなされる。
⇒評価への影響はないと判断される。

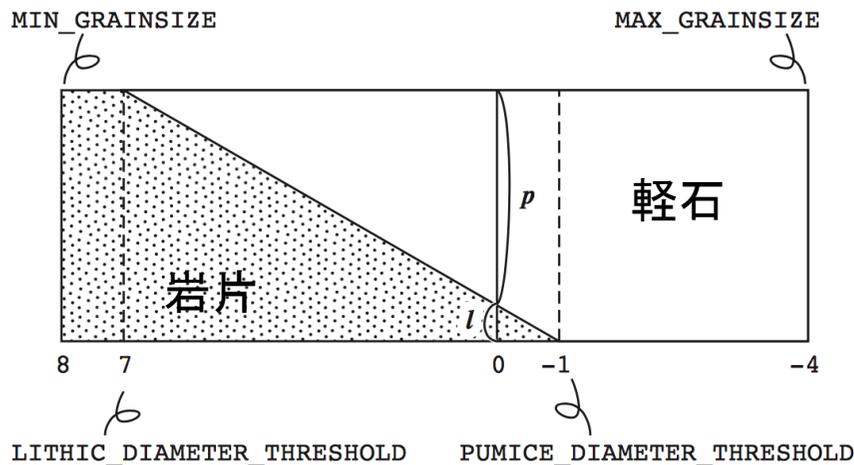
※¹黒川ほか(2008)によれば、山元ほか(2005)は、勝方火砕流堆積物を天栄火砕流堆積物に対比しているが、天栄火砕流堆積物の年代的な不確実性等から、黒川ほか(2008)ではその対比を保留し、勝方火砕流と仮称している。

[参考5] 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に、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

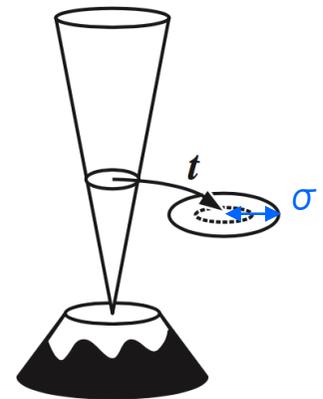
Fall Time Threshold(FTT)

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

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

3600s

← 短い 長い →



給源モデルの概念図
(萬年(2013)に加筆)

- 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

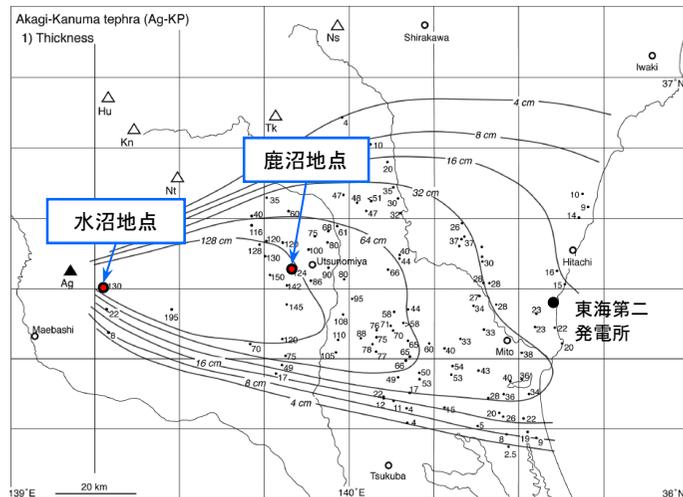
[参考6] 赤城鹿沼テフラの給源周辺の産状

赤城鹿沼テフラ(Ag-KP)の給源(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°



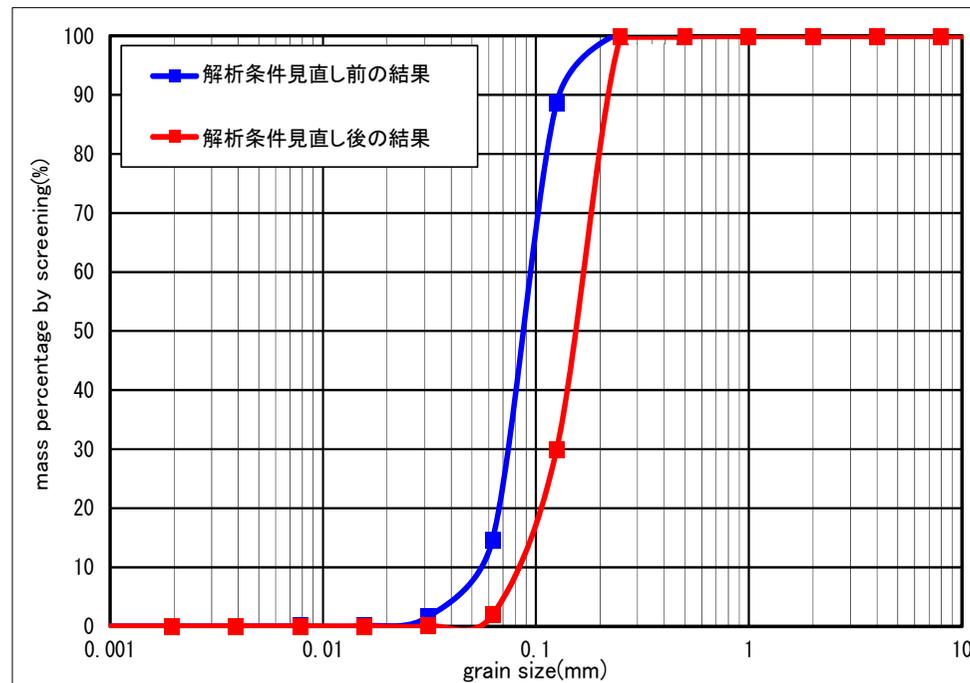
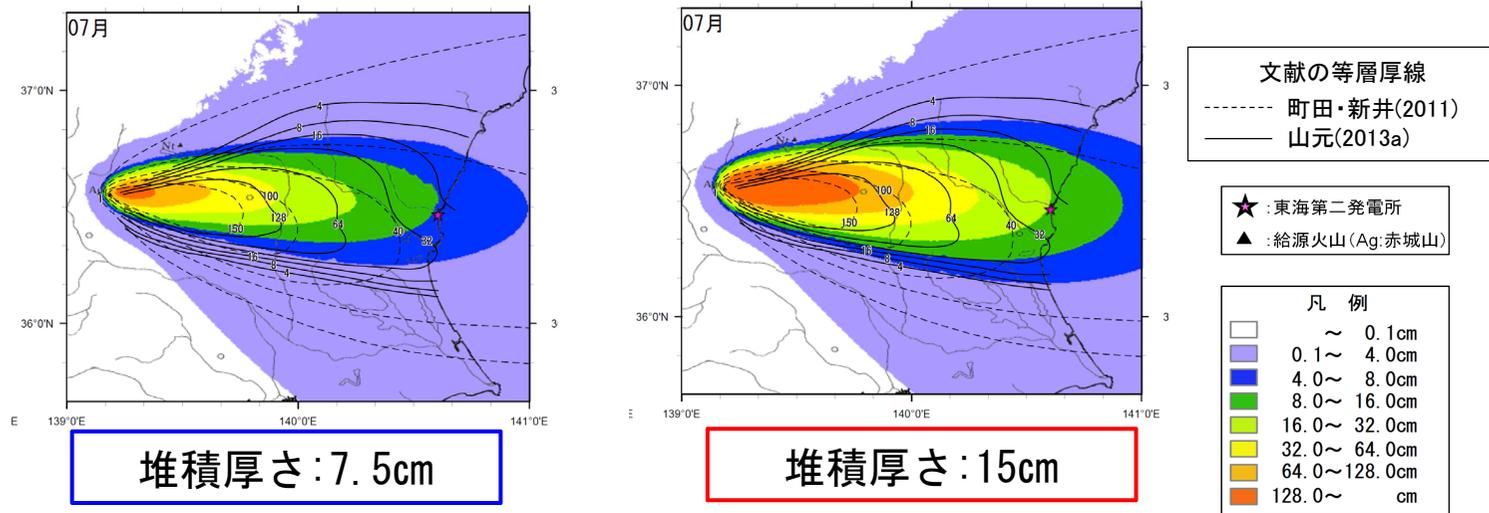
鹿沼地点(赤城山から約57km)



※法面角度約45°

[参考7] 解析結果における敷地での粒度分布

解析結果(条件の見直し前後)における敷地の粒径加積曲線を以下に示す。
見直し前後で比較すると見直し後の方が粒径が粗いものが多い。



- 日本火山学会2016年秋季大会(2016年10月13日~15日)のポスターセッションにおいて、大阪大学の佐伯准教授が「Tephra2」の解析コードの粒子の落下速度の式に一部バグがあることを発表
- この指摘を受け、当社においても「Tephra2」の解析コードを確認したところ、同准教授が指摘したバグがあることを確認。このバグを修正し解析を行った。

◆バグの概要

給源直上から放出される火山灰粒子の落下速度は、落下する粒子が持つ慣性力と大気の粘性力の比から求まる粒子のレイノルズ数に応じて、以下に示す原理式を用いて算出している。今回、この原理式に基づく解析コードの一部にバグが確認された。

◆粒子の落下速度(V_t)の原理式

粒子の落下速度(V_t)の計算式

$$V_t = \frac{gd^2(\rho_p - \rho_a)}{18\mu} \quad R_e < 6$$

$$V_t = \left[\frac{4g^2 d^3 (\rho_p - \rho_a)^2}{225\mu \rho_a} \right]^{1/3} \quad 6 \leq R_e < 500$$

$$V_t = \left[\frac{3.1gd(\rho_p - \rho_a)}{\rho_a} \right]^{1/2} \quad 500 \leq R_e$$

$R_e = \frac{d\rho_a V_t}{\mu}$: 粒子レイノルズ数 g : 重力加速度 d : 粒径
 ρ_p : 粒子密度 ρ_a : 大気密度 μ : 大気の粘性

◆当社使用の「Tephra2」の解析コードの入手先

アメリカ国立科学財団・V-HUBホームページより2016年11月25日にVer. 91(2014/9/19公開)をダウンロード(<https://vhub.org/resources/tephra2/about>)

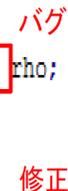
◆原理式に基づく解析コードの修正箇所

○バグ修正前

```
>temp1 = GRAV_SQRD_x_4 * part_density * part_density / AIR_VISCOSITY x 225 * rho;
>vti = ashdiam * pow(temp1, ONE_THIRD);
```

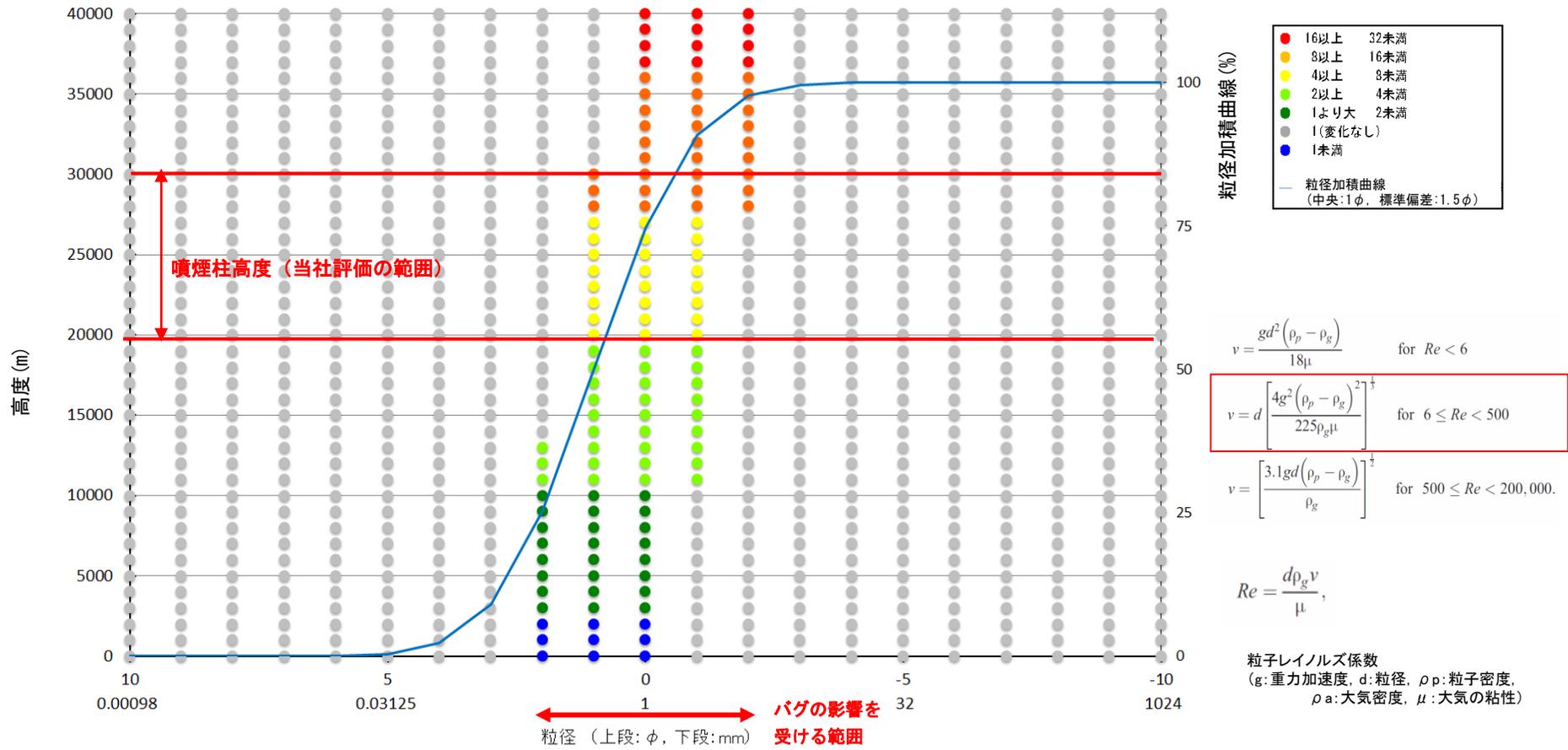
○バグ修正後

```
>temp1 = GRAV_SQRD_x_4 * part_density * part_density / AIR_VISCOSITY x 225 / rho;
>vti = ashdiam * pow(temp1, ONE_THIRD);
```



[参考8] Tephra2のバグに関する報告(バグ修正に伴う計算上の影響)

- ・バグはレイノルズ数が $6 \leq Re < 500$ となる条件の場合の計算式のみであったため、粒径及び高度により、バグの影響を受けるものと受けないものがある。
- ・着色部(青色除く)の条件下において降下速度が速まり、バグの修正前に比べ、より給源近傍に堆積しやすい解析結果になると考えられる。
- ・また、当社の赤城鹿沼テフラの噴煙柱高度20,000m~30,000mでは、主に粒径が $2\phi \sim 2\phi$ (0.25mm~4mm)の粒子に降下速度の違いが生じる。



Tephra2修正前と修正後におけるFall speed(修正後/修正後)= Fall Time(修正前/修正後)の比較
及び噴出物全量の粒径加積曲線

[参考8] Tephra2のバグに関する報告(解析結果一覧)

- 参考として、国立研究開発法人産業技術総合研究所(以下、産総研)が、今回のバグを修正しHP上で公開しているTephra2により同様の条件で解析を行った結果、当社使用のTephra2の解析結果と比べ、概ね類似した結果が得られた。

検討項目	当社使用の Tephra2の 解析結果	(参考)産総研の WEBサイトTephra2 による解析結果※
	堆積厚さ(cm)	堆積厚さ(cm)
平年値 の 風 (9時)	1月	12.5
	2月	29.0
	3月	8.5
	4月	4.2
	5月	1.7
	6月	3.5
	7月	15.7
	8月	5.2
	9月	0.3
	10月	0.2
	11月	0.3
	12月	2.1

検討項目	当社使用の Tephra2の 解析結果	(参考)産総研の WEBサイトTephra2 による解析結果※
	堆積厚さ(cm)	堆積厚さ(cm)
平年値 の 風 (21時)	1月	10.2
	2月	27.0
	3月	9.2
	4月	3.6
	5月	2.3
	6月	6.5
	7月	14.9
	8月	5.3
	9月	0.4
	10月	0.2
	11月	0.4
	12月	2.5

不確かさ の 検討 (2月)	①噴煙柱 高度	20km	25.0	31.6
		30km	21.3	25.9
	②風速	平均+1σ	17.5	24.7
		平均-1σ	21.3	21.9
	③風向	敷地 方向の風	48.8	42.1

※: 国立研究開発法人 産業技術総合研究所のWEBサイト(G-EVER 火山災害予測支援システム: <http://volcano.g-ever1.org/vhazard/HazardAssessment/>)にて公開しているTephra2(産総研によりバグ修正済み)による確認結果

[参考8] Tephra2のバグに関する報告

(当社使用のTephra2と産総研のHP上でのTephra2の解析条件の差異①)

第432回審査会合
資料1 修正

当社使用のTephra2の解析条件

想定噴火規模	パラメータ	単位	設定値	
赤城鹿沼テフラ (Ag-KP)	噴出量	kg	4.0 × 10 ¹²	
	噴煙柱高度	km	25	
	噴煙柱分割高さ	m	100	
	粒径	最大	mm (Φ)	1,024 (-10)
		最小	mm (Φ)	1/1,024 (10)
		中央	mm (Φ)	1/2 (1.0)
		標準偏差	mm (Φ)	1/3 (1.5)
	粒子密度	t/m ³	1.0	
	見かけの渦拡散係数	m ² /s	0.04	
	拡散係数	m ² /s	10,000	
	Fall Time Threshold	s	3,600	
	Plume Ratio	-	0.1	
	給源	X(東距)	m	338,296
Y(北距)		m	4,047,614	
標高		m	1,828	

標高データ: 数値地図 50mを
解析用に500mメッシュに変換

(参考)産総研のHP上でのTephra2の解析条件

想定噴火規模	パラメータ	単位	設定値	
赤城鹿沼テフラ (Ag-KP)	噴出量	kg	4.0 × 10 ¹²	
	噴煙柱高度	km	25	
	噴煙柱分割高さ	m	100	
	粒径	最大	mm (Φ)	1,024 (-10)
		最小	mm (Φ)	1/1,024 (10)
		中央	mm (Φ)	1/2 (1.0)
		標準偏差	mm (Φ)	1/3 (1.5)
	粒子密度	t/m ³	1.0	
	見かけの渦拡散係数	m ² /s	0.04	
	拡散係数	m ² /s	10,000	
	Fall Time Threshold	s	3,600	
	Plume Ratio	-	0.1	
	給源	X(東距)	m	338,300.3
Y(北距)		m	4,047,615.9	
標高		m	1,813	

標高データ: 数値地図 100m

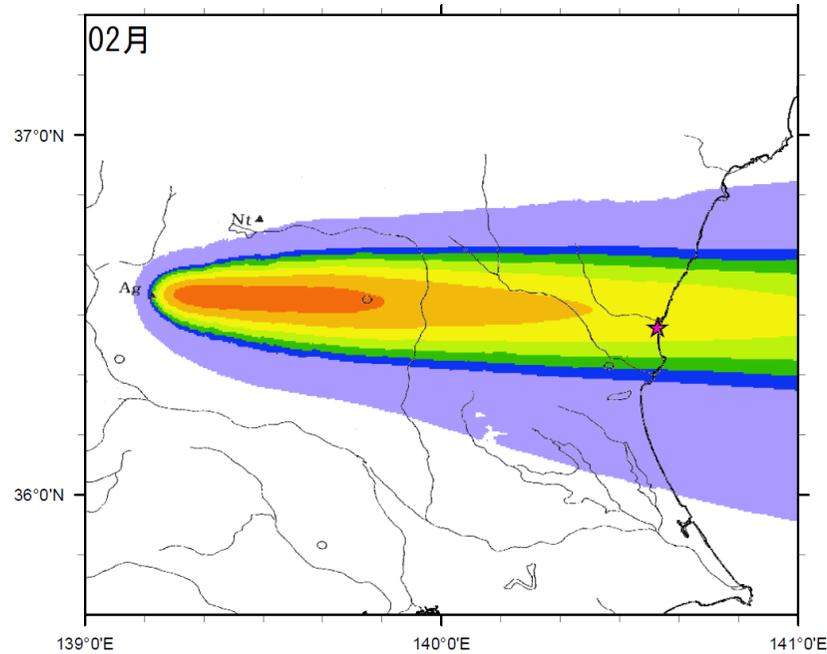
↑
緯度経度の数値を手入力できず、
地図上でクリックして座標を指定
するため、全く同じ座標とならない。

[参考8] Tephra2のバグに関する報告

(当社使用のTephra2と産総研のHP上でのTephra2の解析条件の差異②)

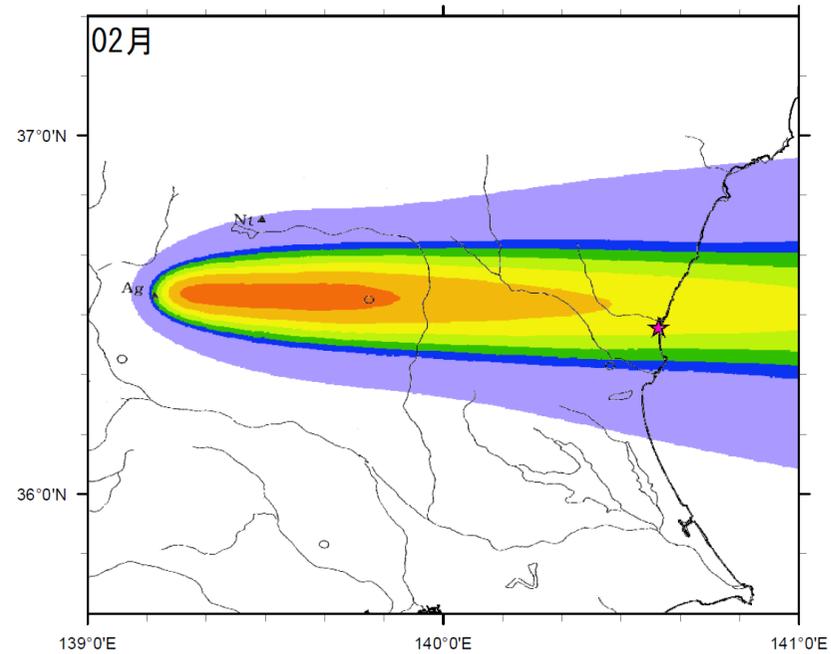
• 当社使用のTephra2と、参考として実施した産総研のHP上でのTephra2の解析結果の分布傾向は概ね類似している。

当社使用のTephra2の解析結果



堆積厚さ:48.8cm

産総研のHP上でのTephra2の解析※



堆積厚さ:42.1cm

★:東海第二発電所
▲:給源火山(Ag:赤城山)

凡 例	
□	~ 0.1cm
□	0.1~ 4.0cm
□	4.0~ 8.0cm
□	8.0~ 16.0cm
□	16.0~ 32.0cm
□	32.0~ 64.0cm
□	64.0~128.0cm
□	128.0~ cm

※:国立研究開発法人 産業技術総合研究所のWEBサイト(G-EVER 火山災害予測支援システム:
<http://volcano.g-eever1.org/vhazard/HazardAssessment/>)にて公開しているTephra2(産総研によりバグ修正済み)による確認結果