



美浜発電所、高浜発電所及び大飯発電所 原子炉設置変更許可申請

【大山生竹テフラの噴出規模見直しに係る
指摘事項への回答について】

関西電力株式会社

2020年6月19日



No.	これまでの審査会合でのご指摘事項	審査会合での状況
1	噴出規模11km ³ の根拠を示すこと。[第748回審査会合]	1/24審査会合で ご説明済み
2	Tephra2の評価における前提、根拠等のパラメータと、それにより最大層厚をどのように設定したか説明すること。[第748回審査会合]	3/13審査会合で ご説明済み
3	階段ダイアグラムの噴出量について、既往文献(山元2017等)の情報も含めて整理すること。[第827回審査会合]	3/13審査会合で ご説明済み
4	高噴出率期と低噴出率期の評価にあたっては、ピアレビューを受けた公表論文(Yamamoto and Hoang(2019))も参照すること。[第827回審査会合]	3/13審査会合で ご説明済み
5	マグマ定置深さに関する原子力規制庁2019の引用について、カルデラ噴火を対象とした知見を大山に引用する理由を示すこと。[第827回審査会合]	3/13審査会合で ご説明済み
6	降灰層厚として評価できないとした土師地点及び大屋地点の調査結果についても資料集(補足説明)に追加すること。[第827回審査会合]	3/13審査会合で ご説明済み
7	神吉地点のボーリング調査結果について、層厚を評価した部分を明確にするとともに柱状図や写真などのデータも添付すること。[第827回審査会合]	3/13審査会合で ご説明済み
8	越畑地点における降灰層厚と大山からの越畑地点及び各発電所との距離の関係を踏まえ、設計層厚を見直すこと。[第849回、第860回審査会合]	今回ご説明 (P.51)
9	シミュレーション結果を層厚図として示し、DNPアイソパックと対比して示すこと。[第849回審査会合]	4/14審査会合で ご説明済み
10	越畑地点のシミュレーションについて、地形が層厚分布に及ぼす影響について説明すること。[第849回、第860回審査会合]	今回ご説明 (資料集 P.77)

本日は、「美浜発電所、高浜発電所及び大飯発電所の火山影響評価について」のうち、大山の噴出規模に関する審査会合での指摘事項に対する検討結果および噴出規模に基づく影響評価に係る検討結果をご説明する。

したがって、本日の説明資料は、当該部分を含む「3.1安全性に影響を与える可能性のある火山事象の抽出」～「3.5 降下火砕物の層厚に関するまとめ」および「4. 火山影響評価(立地及び影響評価)」の該当箇所のみとしている。

1. 火山影響評価ガイドによる評価の流れ	p3	
火山影響評価ガイドによる評価の流れ	p4	
2. 立地評価	p5	
2.1 地理的領域内(160km)に分布する第四紀火山の抽出	p6	
2.2 原子力発電所に影響を及ぼし得る火山の抽出	p7	
2.3 設計対応不可能な火山事象の検討	p8	
2.4 抽出された火山の火山活動に関する個別評価のまとめ	p9-16	
3. 影響評価	p17	
3.1 安全性に影響を与える可能性のある火山事象の抽出	p18-19	} 今回、ご説明 (P.4~64)
3.2 検討対象とする降下火砕物の抽出	p20-25	
3.3 噴出源が同定できる降下火砕物に関する検討	p26-66	
3.4 噴出源が同定できない降下火砕物に関する検討	p67-76	
3.5 降下火砕物の層厚に関するまとめ	p77-78	
3.6 降下火砕物の粒径	p80-83	
3.7 降下火砕物の密度	p84-85	
4. 火山影響評価(立地及び影響評価)のまとめ	p86	} 今回、ご説明 (P.65~72)
火山影響評価(立地及び影響評価)のまとめ	p87	
5. 参考文献	p88	
参考文献	p89-93	

3.1 安全性に影響を与える可能性のある火山事象の抽出

安全性に影響を与える可能性のある火山事象の抽出

平成29年1月27日
第436回 大飯発電所3, 4号炉 火山影響評価に係る審査会合
資料1-1 再掲

5

火山影響評価ガイドに従い、発電所の安全性に影響を与える可能性のある火山事象を抽出する。

火山事象	位置関係	影響の有無	検討結果、評価方針
1. 降下火砕物	—	あり	文献調査、敷地及びその周辺での地質調査結果等に基づき評価を実施
2. 火砕物密度流	160km	なし	立地評価上問題なし
3. 溶岩流	50km	なし	立地評価上問題なし
4. 岩屑なだれ、地滑り及び斜面崩壊	50km	なし	立地評価上問題なし
5. 火山性土石流、火山性泥流及び洪水	120km	なし	敷地との距離、地形から影響はないことから、発電所に影響を及ぼす可能性は十分に小さい
6. 火山から発生する飛来物(噴石)	10km	なし	該当火山なし
7. 火山ガス	160km	なし	敷地は若狭湾に面しており、火山ガスが滞留するような地形ではないことから、発電所に影響を及ぼす可能性は十分に小さい
8. 新しい火口の開口	—	なし	立地評価上問題なし
9. 津波及び静振	—	なし	日本海で認められる活火山や第四紀火山について、津波堆積物調査結果、火山の活動に関する評価結果等から、発電所に影響を及ぼす可能性は十分に小さい
11. 地殻変動	—	なし	立地評価上問題なし
10. 大気現象	—	なし	敷地周辺は火山が確認されていないことから、発電所に影響を及ぼす可能性は十分に小さい
12. 火山性地震とこれに関連する事象	—	なし	
13. 熱水系及び地下水の異常	—	なし	

1. 降下火砕物を抽出

3.2 検討対象とする降下火砕物の抽出

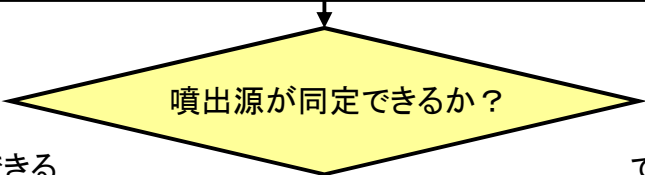
【火山影響評価ガイド】

6. 原子力発電所への火山事象の影響評価より抜粋

降下火砕物に関しては、火山抽出の結果にかかわらず、原子力発電所の敷地及びその周辺調査から求められる単位面積あたりの質量と同等の火砕物が降下するものとする。

なお、敷地及び敷地周辺で確認された降下火砕物で、噴出源が同定でき、その噴出源が将来噴火する可能性が否定できる場合は考慮対象から除外する。

原子力発電所に影響を及ぼし得る6火山及び地理的領域外の火山について、文献調査、地質調査結果より、敷地及びその周辺において降灰層厚が比較的厚い降下火砕物を抽出する。



できる

できない

噴火規模
の検討

- ・当該火山の発電所運用期間中の噴火規模について、噴火履歴および地下構造から検討を行う。
- ・なお、上記検討結果より、将来噴火の可能性が否定できる場合は考慮対象から除外する。

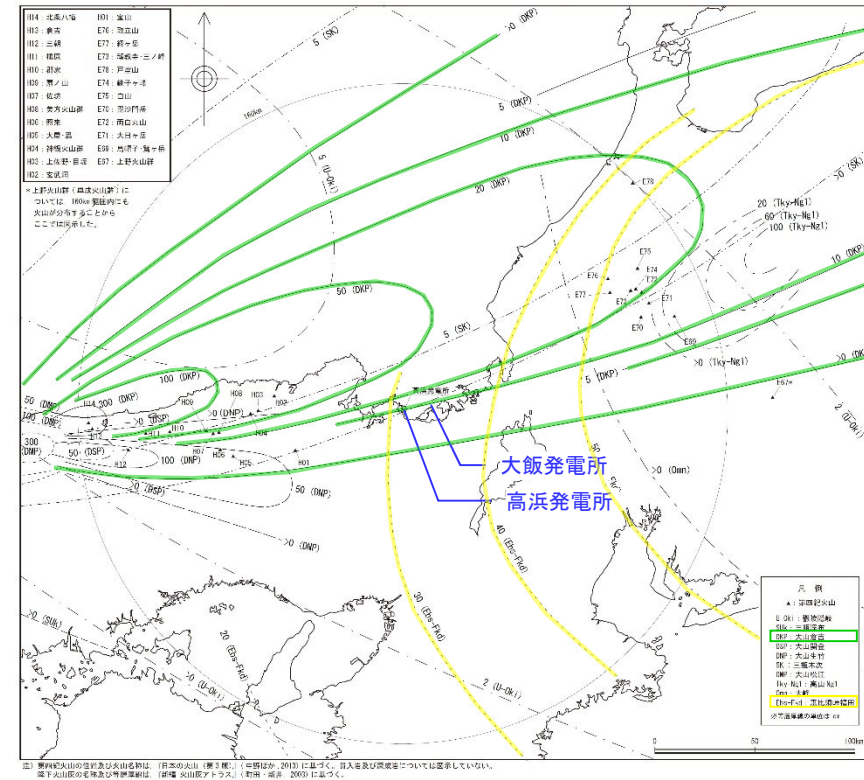
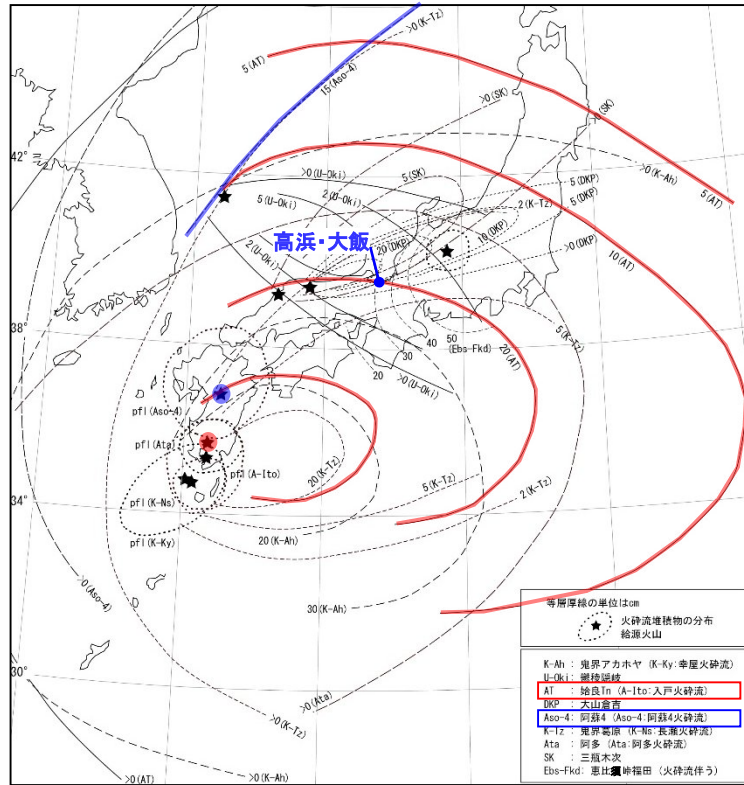
- ・噴火規模の検討については、噴出源が同定できないため、検討対象外。

降灰層厚
の検討

- ・発電所運用期間中の噴火規模に対して、既往文献等を用いて降灰層厚の検討を行う。
- ・必要に応じて、降灰シミュレーションを実施する。

- ・当該噴出物の堆積状況について、再堆積の可能性も含め、詳細に確認し、降灰層厚について検討する。

降下火砕物の降灰層厚を設定



・「新編火山灰アトラス」を確認した結果※、敷地及びその周辺において、降灰層厚が比較的厚く、噴出源が同定できる降下火砕物として、「始良Tnテフラ(約20cm)」「大山倉吉テフラ(約5cm～約10cm)」「恵比須峠福田テフラ(約30cm～約40cm)」を抽出した。

・原子力発電所に影響を及ぼし得る6火山の降下火砕物については、敷地及びその周辺においては確認できなかった。

※「新編火山灰アトラス」では、阿蘇4テフラの降灰層厚が15cm以上であったが、敷地周辺の水月湖で実施されたボーリング調査結果より、降灰層厚が約4cm程度(Smith et al.(2013))であり、降下火砕物が敷地に影響を及ぼす可能性が小さいため、検討対象外とした。

・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,東京大学出版会

・Victoria C. Smith , Richard A.Staff , Simon P.E. Blockley , Christopher Bronk Ramsey , Takeshi Nakagawa , Darren F.Mark , Keiji Takemura , Toru Danhara , Suigetsu 2006 Project Members(2013) : Identification and correlation of visible tephtras in the Lake Suigetsu SG06 sedimentary archive , Japan : chronostratigraphic markers for synchronising of east Asian / west Pacific palaeoclimatic records across the last 150 ka , Quaternary Science Reviews , 67 , p.121-p.137

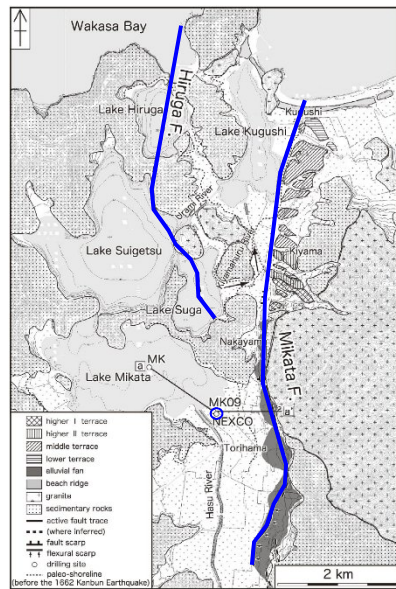
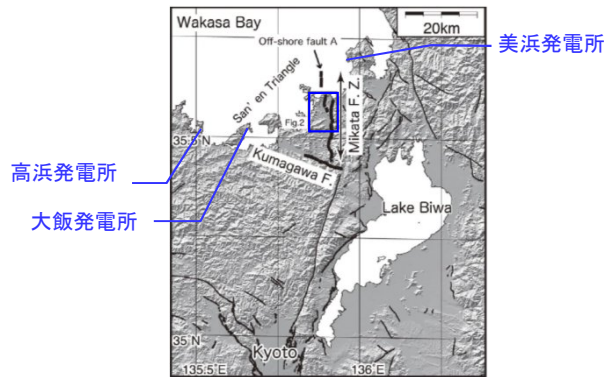


図2 三方五湖周辺の地質および地形区分。
地質図は中江ほか(2002)、湖岸線の分布は岡田(1984)を一部修正、日向断層は木野ほか(1999)および岡田・重藤(2000)に従った。MK09、NEXCOコア、およびMKコア(竹村ほか,1994)の位置を示す。a-a'は図6の地形断面線を示す。

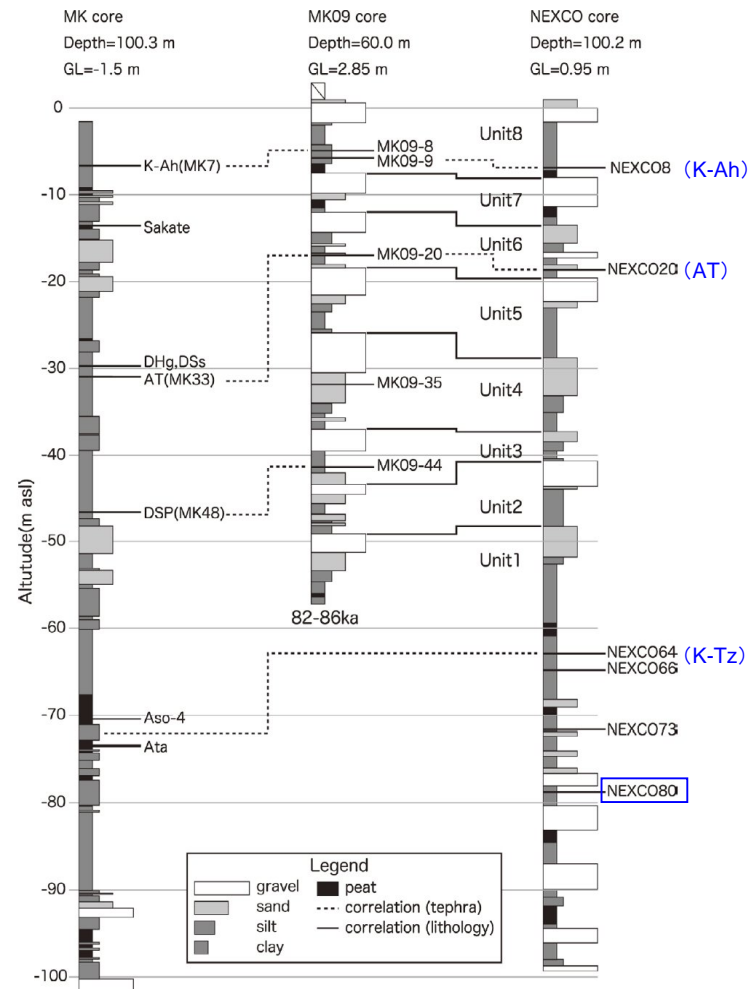


図5 三方湖東岸および湖心部における3本のコア試料の層相とテフラによる対比。

・その他文献調査を行った結果、降灰層厚が比較的厚く、噴出源が同定できない降下火砕物として、「NEXCO80 (層厚20cm:ただし、UpperとLowerに区分されている)」を抽出した。

降下火砕物の抽出

(敷地及びその周辺での地質調査結果(1/2))

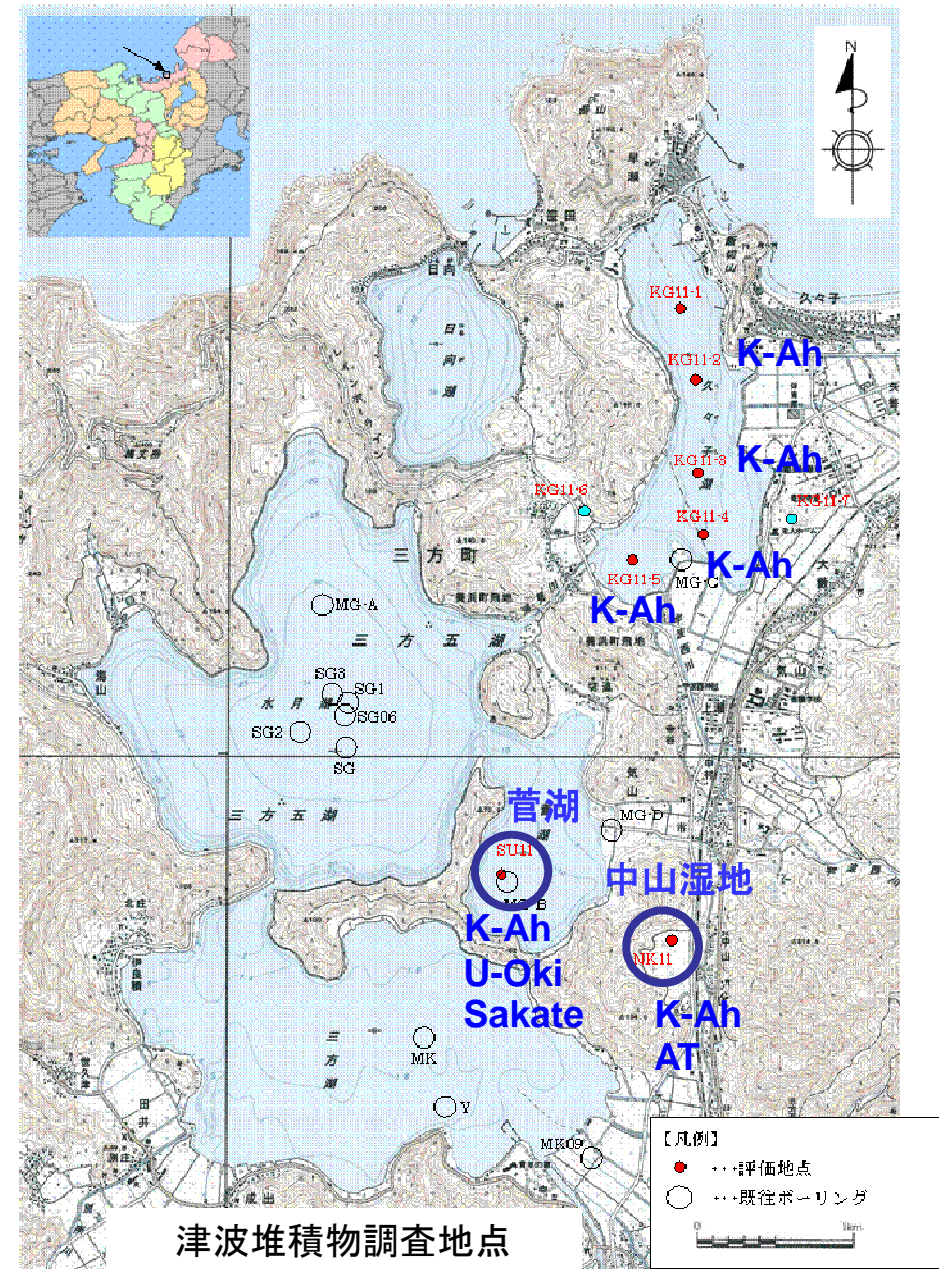
敷地及びその周辺に分布する主な広域降下火砕物

- ・敷地及びその周辺での地質調査の結果、鬼界葛原テフラ(約9.5万年前)、大山倉吉テフラ(約5.5万年前)、始良Tnテフラ(約2.9万年前～約2.6万年前)、鬼界アカホヤテフラ(約7,300年前)などが確認されているが、降下火砕物層として厚く堆積する箇所は確認されていない。
- ・一方、古い地層の保存状況がよい三方五湖周辺において実施した津波堆積物調査の結果、始良Tnテフラ(約2.9万年前～約2.6万年前)、鬱陵隠岐テフラ(約1.1万年前)、鬼界アカホヤテフラ(約7,300年前)等が確認された。

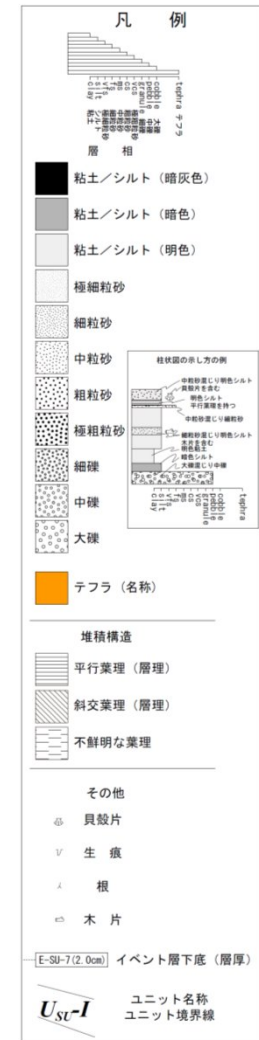
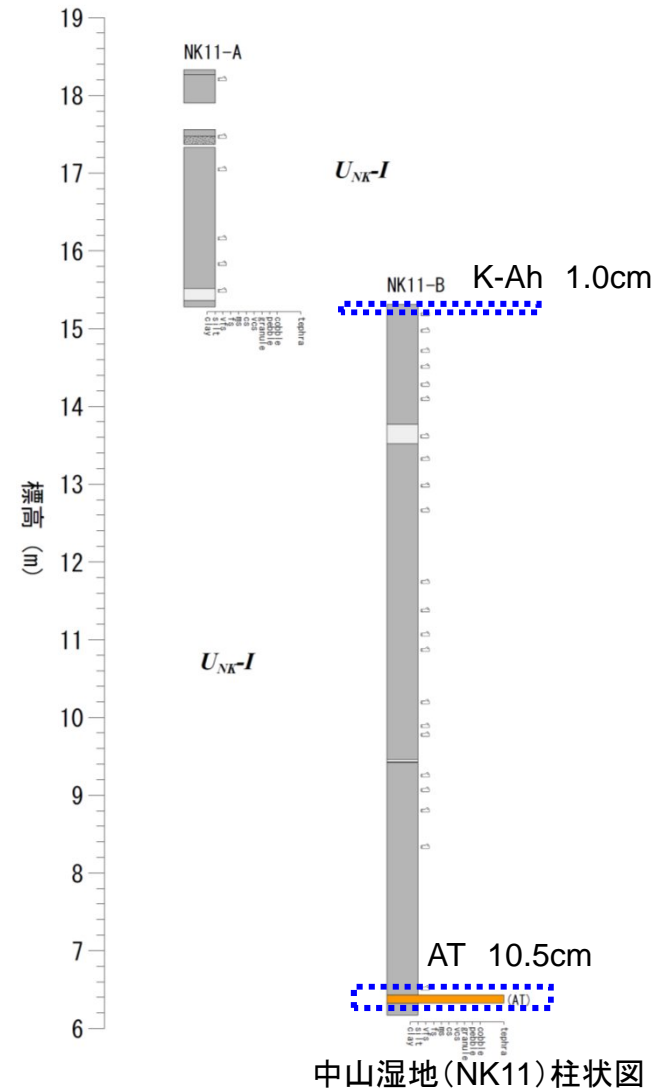
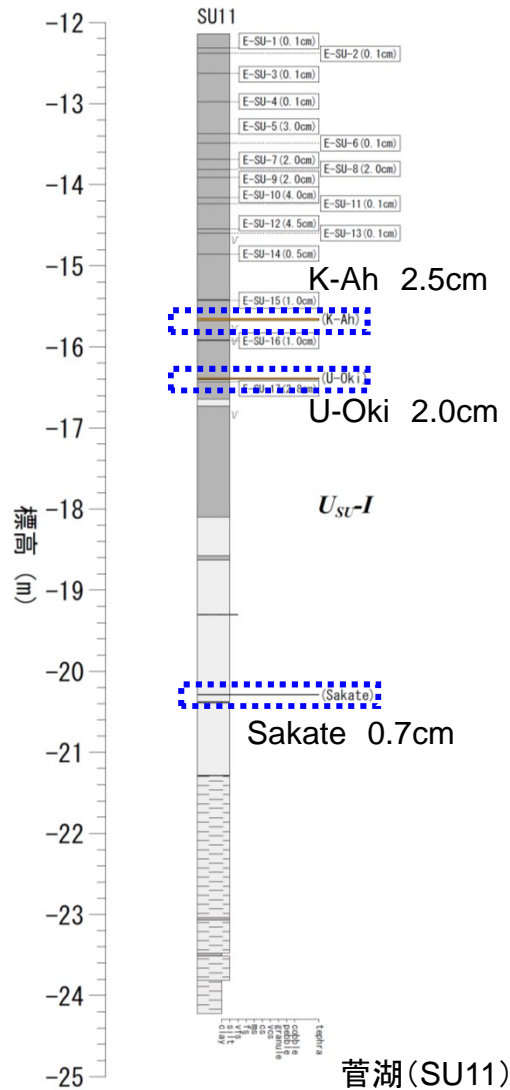


始良Tnテフラ、鬱陵隠岐テフラ等が確認された菅湖、中山湿地の結果について次に示す。

・関西電力(株)(2012):平成23年東北地方太平洋沖地震の知見等を踏まえた原子力施設への地震動及び津波の影響に関する安全性評価のうち完新世に関する津波堆積物調査の結果について



降下火砕物の抽出 (敷地及びその周辺での地質調査結果(2/2))



- ・地質調査を行った結果、降灰層厚が比較的厚く、噴出源が同定できる降下火砕物として、「始良Tnテフラ」を抽出した。
- ・原子力発電所に影響を及ぼし得る6火山の降下火砕物については、敷地及びその周辺においては確認できなかった。

3.3 噴出源が同定できる降下火砕物に関する検討

3.3.1 始良カルデラの将来の噴火の可能性に関する検討

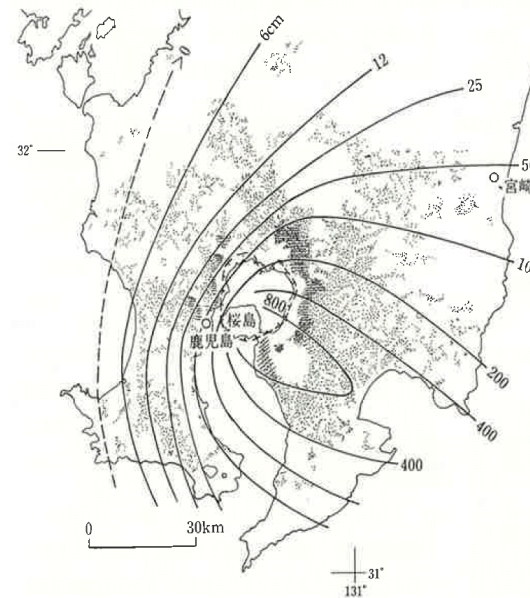
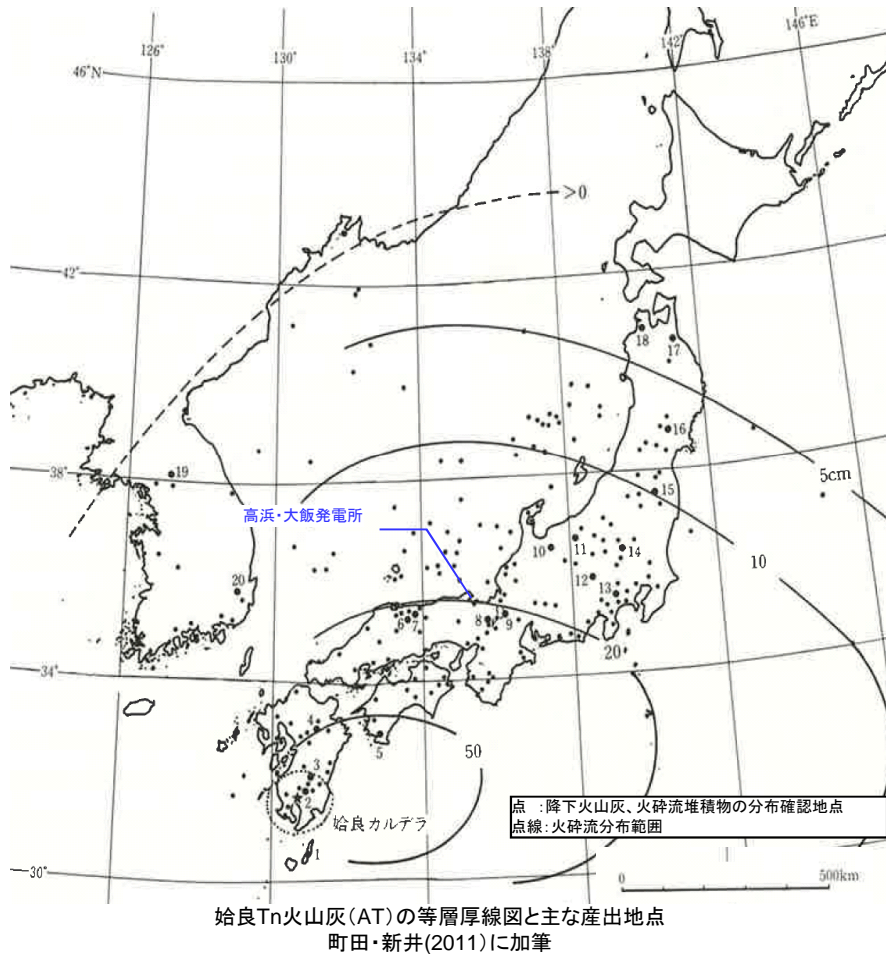


図 2.1-5 大隅降下軽石 (A-Os) の等層厚線と妻屋および入戸火砕流堆積物 (A-Tm, A-Ito) などの分布。
点: 入戸火砕流 (A-Ito), 横線: 妻屋火砕流 (A-Tm), 斜線: 大隅降下軽石 (A-Os) と同時の火砕流堆積物。
[Kobayashi *et al.* (1983), Aramaki (1984), 宮地 (1987) などより編集]

町田・新井(2011)

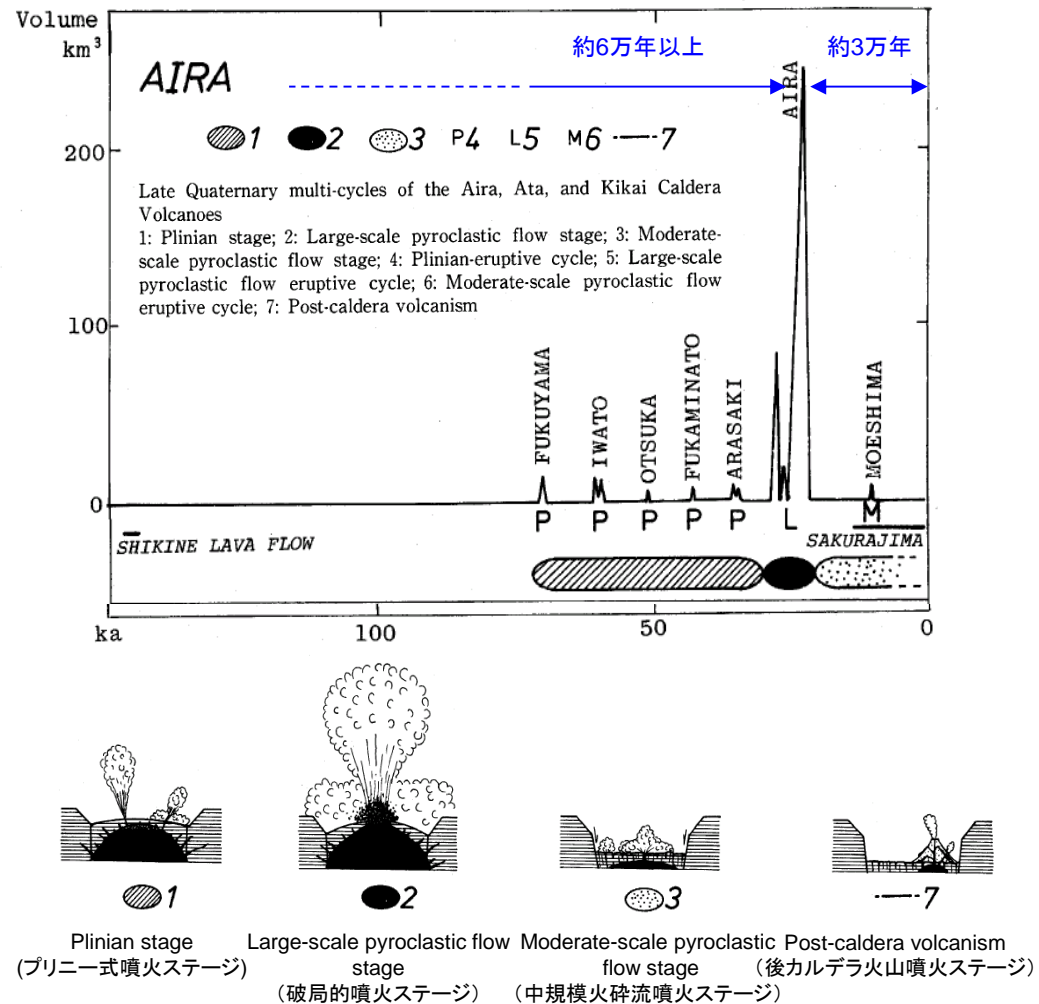
地質調査総合センター日本の火山データベース
https://gbank.gsj.jp/volcano/Quat_Vol/volcano_data/H17.html

火山の型式・構造	カルデラ-火砕流台地
主な岩石	流紋岩、玄武岩、安山岩

・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],東京大学出版会

町田・新井(2011)によると、以下のとおり。

- ・始良カルデラは、鹿児島湾北部を占める径20kmの大カルデラであり、このカルデラの大部分は中期更新世にはすでに海湾として成立していた。
- ・始良Tnテフラは、始良カルデラを噴出源とし、約2.6万年前～約2.9万年前に噴出した降下軽石、巨大火砕流堆積物とその降下火山灰をさす。
- ・始良Tnテフラは、破局的噴火により噴出した入戸火砕流堆積物の上部を占めていた多量の火山灰が風に送られて広大な範囲に降下堆積したものである。



Shinji Nagaoka(1988): The late quaternary tephra layers from the caldera volcanoes in and around Kagoshima bay, southern Kyushu, Japan, Geographical Reports of Tokyo Metropolitan University, No.23, p.49-p.122

- ・Nagaoka(1988)によると、現在の始良カルデラの噴火ステージは、後カルデラ火山噴火ステージ(Post-caldera volcanism)とされている。
- ・また、破局的噴火の活動間隔(約6万年以上)は、最新の破局的噴火(AIRA)の経過時間(約3万年)に比べて十分長いこと、現在、破局的噴火に先行して発生するプリニー式噴火ステージの兆候が認められないことから、破局的噴火までには十分時間的な余裕があると考えられ、発電所運用期間にこの規模の噴火の可能性は十分低いと考えられる。

マグマの種類	玄武岩質	安山岩質	デイサイト質	流紋岩質
	マグマの性質	← 苦鉄質		珪長質 →
SiO ₂ (wt.%)	45~53.5	53.5~62	62~70	70以上
密度(kg/m ³)	2700	2400	2300	2200
マグマのSiO ₂ と密度の関係(兼岡・井田(1997))				
マグマの性質	SiO ₂ の量	少ない → 多い		
	粘性	小 → 大		
	温度	高い ← 低い 1000度以上 ← 1000度以下		
噴火の仕方	おだやか → 爆発的			

マグマの性質と噴火の仕方(力武他(1987))

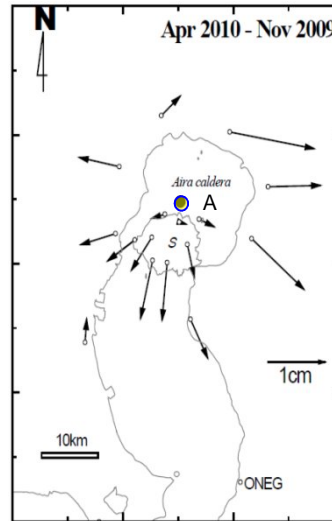


図1 始良カルデラの水平変位ベクトル図(井口他(2011))

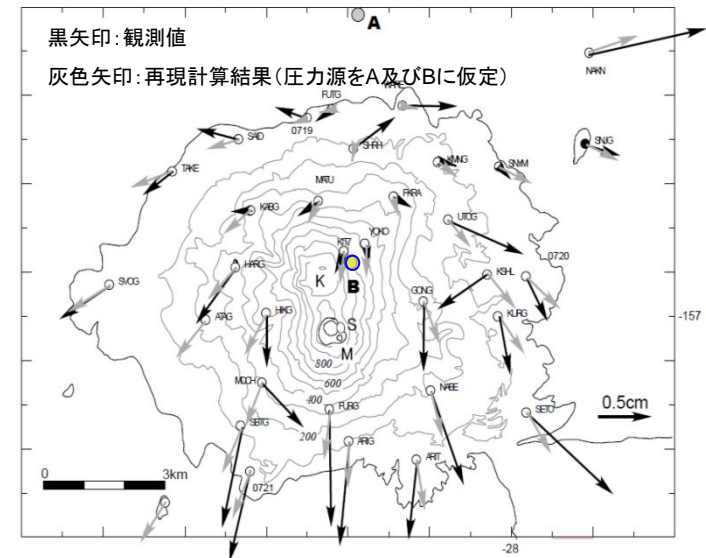


図2 桜島の水平変位ベクトル図(井口他(2011))

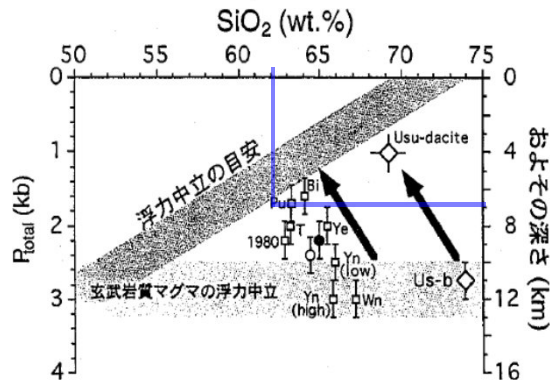


図3 マグマ溜まりの深さ(圧力)とマグマの組成との関係。◇は有珠火山, □はMt. St. Helens, ○はFish Canyon Tuff, ●はPinatuboの噴出物である。マグマ溜まりは浮力中立点よりも浅所には形成されない。また、時間と共に玄武岩質マグマの浮力中立点から自分自身の浮力中立点へと移っていく傾向がある。

(東宮(1997))

- ・兼岡一郎・井田善明(1997): 火山とマグマ, 東京大学出版会
- ・力武常次・永田裕・小川勇二郎(1987): 改訂新版新地学, 数研出版
- ・東宮昭彦(1997): 実験岩石学的手法で求まるマグマ溜まりの深さ, 月刊地球, 19, p.720-p.724
- ・井口正人・太田雄策・中尾茂・園田忠臣・高山鏡朗・市川信夫(2011): 桜島昭和火口噴火開始以降のGPS観測2010年~2011年, 「桜島火山における多項目観測に基づく火山噴火準備過程解明のための研究」平成22年度報告書

○兼岡・井田(1997)を基に、マグマのSiO₂と密度の関係を作成し、東宮(1997)のマグマの深さと組成との関係を確認した結果、地殻の密度とマグマの密度が釣り合う深さ(浮力中立点)は、破局的噴火を引き起こす珪長質マグマ(デイサイト質~流紋岩質)であれば、7km程度である。

○井口他(2011)によると、GPS連続観測より得られた水平変位ベクトルより、始良カルデラ中央部のマグマ溜まりは深さ12kmにあると推定されている。なお、付加的な圧力源が桜島直下の深さ6kmに位置すると推定されている。

○以上より、始良カルデラ中央部のマグマ溜まりは深度12kmに位置しており、破局的噴火を引き起こす珪長質マグマの浮力中立点の深度7kmより深い位置にある。

【噴火履歴による検討結果】

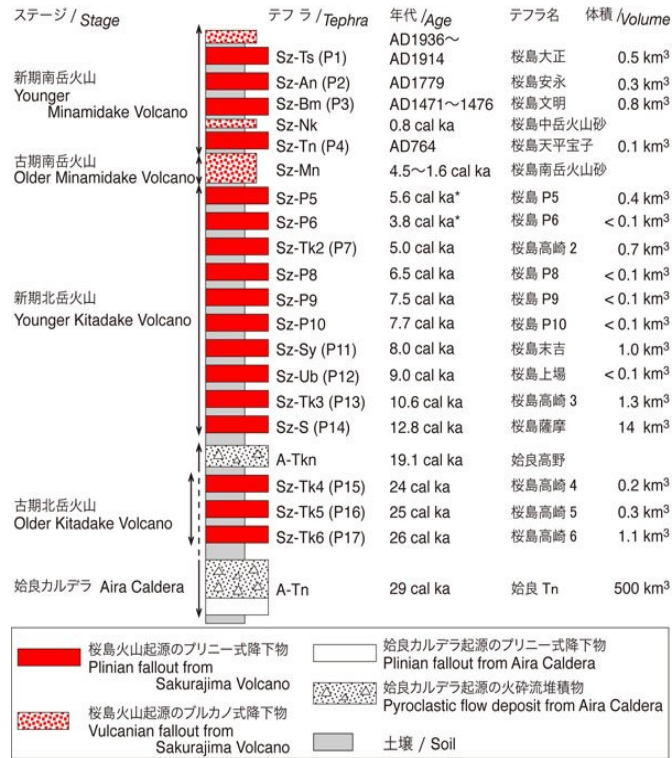
- 破局的噴火の活動間隔(約6万年以上)は、最新の破局的噴火(AIRA)の経過時間(約3万年)に比べて十分長いこと、現在、破局的噴火に先行して発生するプリニー式噴火ステージの兆候が認められないことから、破局的噴火までには十分時間的な余裕があると考えられ、発電所運用期間にこの規模の噴火の可能性は十分低いと考えられる。
- 現在の始良カルデラの噴火ステージは、後カルデラ火山噴火ステージ(Post-caldera volcanism)とされている。

【地下構造による検討結果】

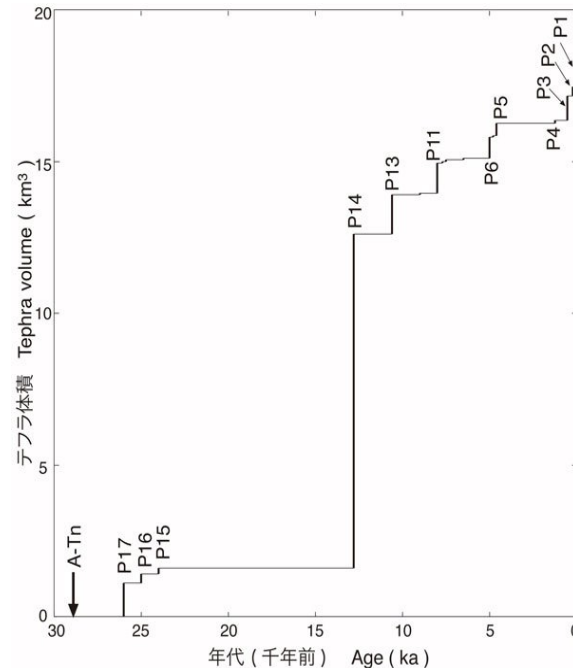
- 始良カルデラ中央部のマグマ溜りは深度12kmに位置しており、破局的噴火を引き起こす珪長質マグマの浮力中立点の深度7kmより深い位置にある。



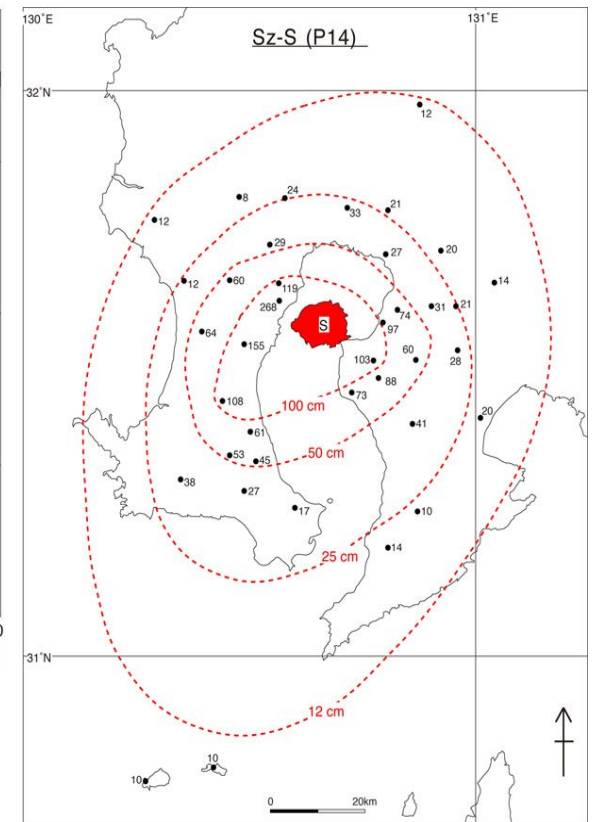
- ・始良カルデラについては、現在のマグマ溜まりは破局的噴火までには十分な時間的余裕があると考えられ、発電所運用期間にこの規模の噴火の可能性は十分低いと考えられる。よって、今後も現在の噴火ステージが継続するものと考えられる。
- ・運用期間中の噴火規模としては、後カルデラ火山噴火ステージである桜島での既往最大規模(桜島薩摩テフラ)程度の噴火を考慮する。



桜島火山のテフラ層序と年代・噴出量 (小林他(2013))



桜島火山から噴出したプリニー式火砕物のテフラ噴出量-時間積算図 (小林他(2013))



数字は層厚で、単位はcm, Sは桜島火山

新期北岳起源のP14(桜島薩摩)テフラの分布 (小林他(2013))

- ・始良カルデラの運用期間中の噴火規模としては、後カルデラ火山噴火ステージである桜島での既往最大規模(桜島薩摩テフラ)程度の噴火を考慮する。
- ・桜島薩摩テフラの噴火規模では、降下火砕物が敷地に影響を及ぼす可能性は十分に小さいと評価する。

・小林哲夫・味喜大介・佐々木寿・井口正人・山元孝広・宇都浩三(2013): 桜島火山地質図(第2版), 産業技術総合研究所地質調査総合センター

3.3.2 大山の将来の噴火の可能性に関する検討

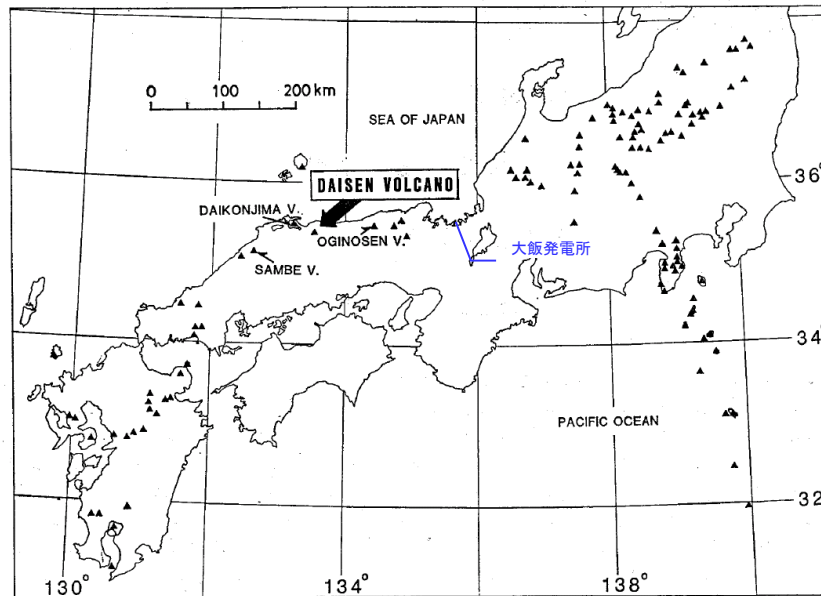


Fig. 1. Index map of Daisen volcano. Solid triangles are Quaternary volcanoes in the central and the west Japan. 津久井(1984)に加筆

地質調査総合センター日本の火山データベース
https://gbank.gsj.jp/volcano/Quat_Vol/volcano_data/H17.html

火山の型式・構造	溶岩ドーム、火砕丘、溶岩流
主な岩石	デイサイト、安山岩

※1:産総研データベース「日本の火山」によると、大山の最高峰は剣ヶ峰(1,729m)と示されている。

津久井(1984)によると、以下のとおりである。

- ・大山は、敷地から160km以遠の鳥取県西部に位置し、東西約35km、南北約30km、総体積120km³をこえる大型の第四紀複成火山である。
- ・山体は、最高峰弥山(1,729m)^{※1}を中心とし広大な裾野をもち円錐形に近いが、厚い溶岩流からなる船上山等が南北に突出した高まりをつくり、また三鈷峰等の溶岩円頂丘・火砕丘がある。
- ・大山は、更新世中期以降に活動を開始し、少なくとも2万年前までその活動を続けた。

気象庁によると、以下のとおりである。

- ・活火山の定義は「概ね過去1万年以内に噴火した火山及び現在活発な噴気活動のある火山」としており、その中に大山は含まれていない。

山元(2018)によると、以下のとおりである。

- ・大山は、約10万年前の名和噴火からマグマ噴出率が大きくなり、DKP噴火から弥山噴火を経て、噴出率が急減し約2万年前の三鈷峰噴火で活動を終えた。

・津久井雅志(1984): 大山火山の地質,地質学会誌,90, p.643-p.658

・産総研データベース「日本の火山」:HP (https://gbank.gsj.jp/volcano/Quat_Vol/volcano_data/H17.html)

・気象庁:HP (https://www.data.jma.go.jp/svd/vois/data/tokyo/STOCK/kaisetsu/katsukazan_toha/katsukazan_toha.html)

・山元(2018): 大山火山のアダカイト質マグマ供給系, 日本火山学会講演予稿集 2018年度 秋季大会



図22 日本の第四紀火山の地形発達を示す模式図。
守屋(1983)に加筆

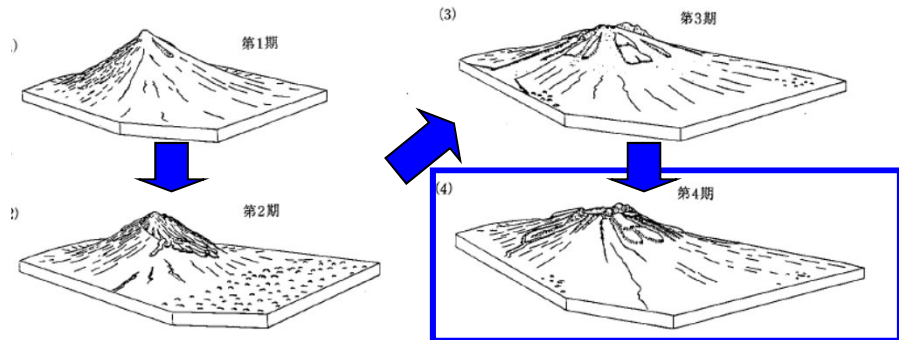
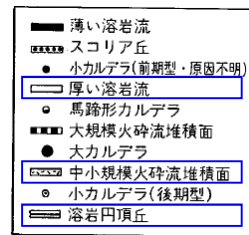


図6.3.2 成層火山の発達過程 [守屋, 1979] 第1期:玄武岩-安山岩質溶岩流・スコリアの交互噴出で成長した典型的円錐形火山。第2期:安山岩質溶岩流・爆発角礫の噴出で急峻な成層火山に成長,山頂大崩壊を起こす。第3期:安山岩-デイサイト質軽石の爆発的噴出で山頂部破壊,火砕流流下で裾野拡大。第4期:火砕流噴出などでカルデラ形成,流紋岩質溶岩ドーム形成。

米倉他(2001)に加筆

表6.3.1 火山体の発達に伴う諸変化 [守屋, 1983を一部修正]

成層火山	前期		後期	
	第1期	第2期	第3期	第4期
噴火様式	ストロンボリ式	ブルカノ式	プリニー式	プリニー式
噴出物	薄い溶岩流・スコリア流 降下スコリア	水蒸気噴火 厚い溶岩流 爆発角礫	軽石質火砕流 降下軽石	プリニー式・樽前式 ドーム溶岩・降下軽石 軽石質火砕流
岩質	玄武岩-安山岩	安山岩	安山岩-デイサイト	デイサイト-流紋岩
苦鉄質斑晶鉱物	かんらん石・輝石	輝石	輝石・角閃石	輝石・角閃石
シリカ(%)*	56	61	62	61
噴出量(km ³)*	95	10	3	3
活動期間(10 ³ 年)*	320	50	30	30
活動度(km ³ /10 ³ 年)*	0.3	0.2	0.1	0.1

* 主な火山の平均値。

米倉他(2001)に加筆

・守屋(1983)によると、日本の第四紀火山の発達史的分類が行われており、大山は第4期として整理されている。
・米倉他(2001)によると、第4期の噴出量は第1期～第3期に比べて少なく、数km³とされている。

・守屋以智雄(1983):日本の火山地形,東京大学出版会,p34

・米倉伸之・貝塚爽平・野上道男・鎮西清高(2001):日本の地形 I 総説,東京大学出版会,p.183-p.184

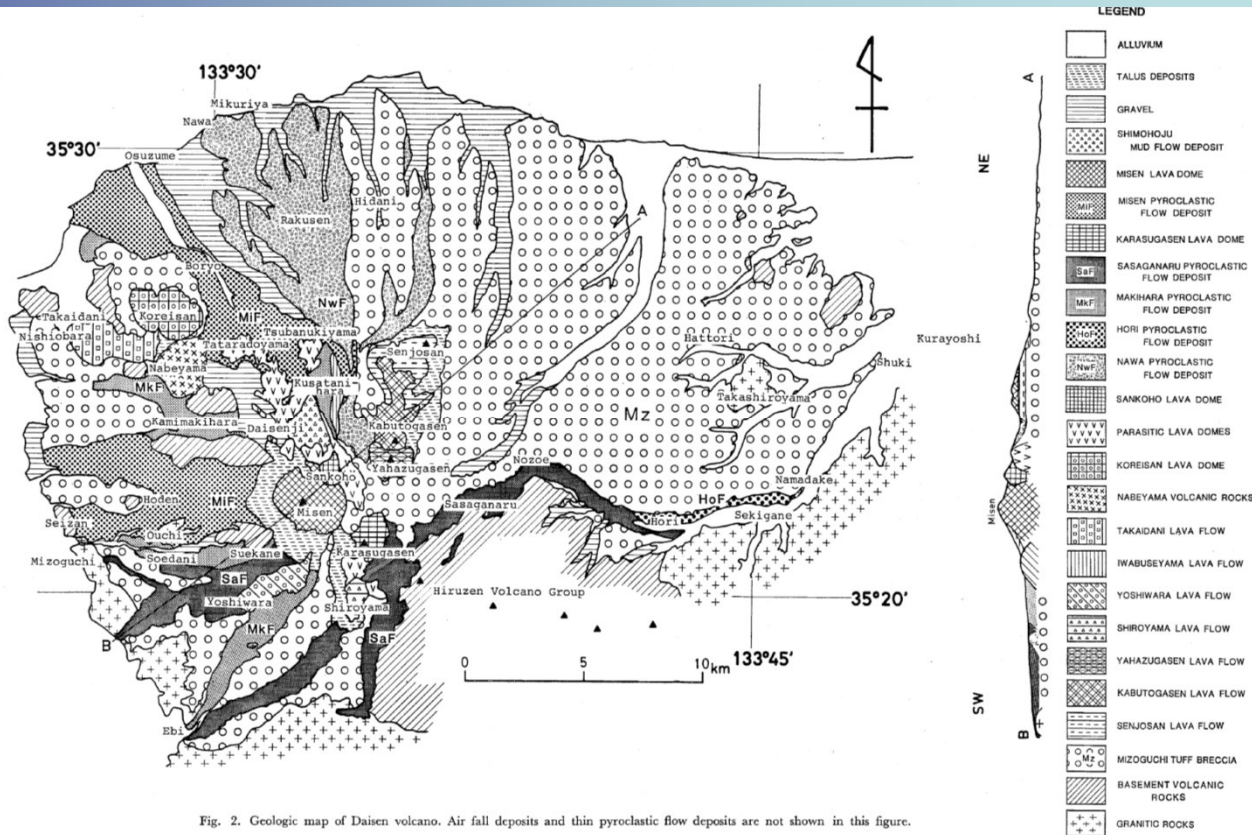
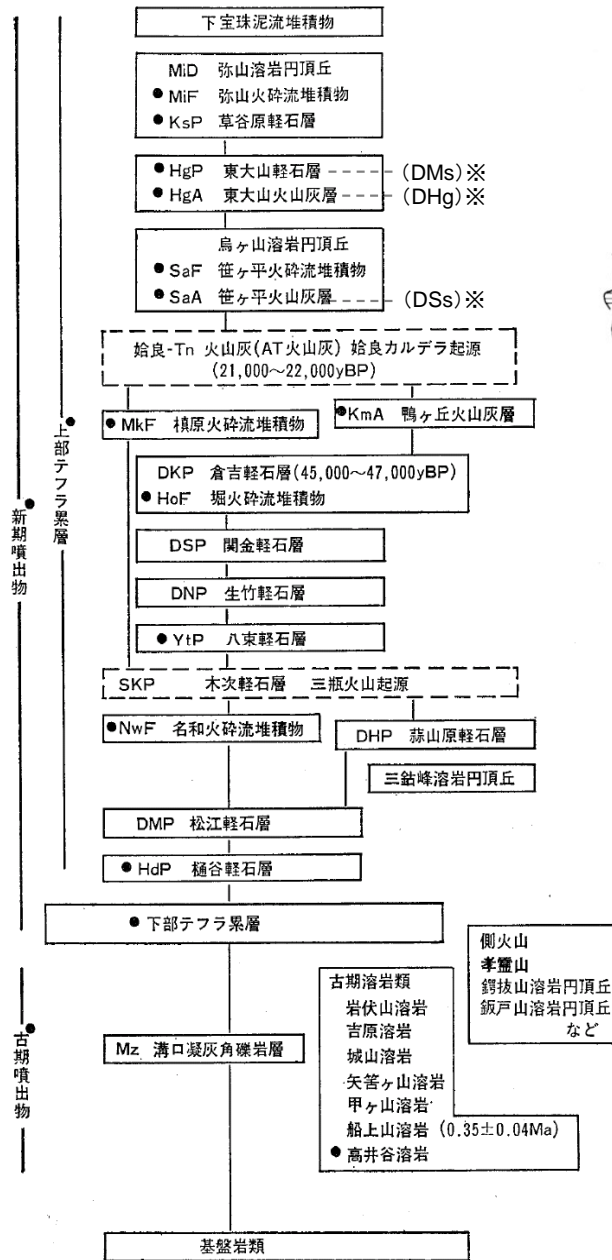


Fig. 2. Geologic map of Daisen volcano. Air fall deposits and thin pyroclastic flow deposits are not shown in this figure.

(津久井(1984))

- ・津久井雅志(1984): 大山火山の地質,地質学会誌,90,p.643-p.658
- ・岡田昭明・石賀敏(2000): 大山テフラ,日本地質学会第107学術大会見学旅行案内書,2000年松江,p.81-p.90
- ・加藤茂弘・山下徹・檀原徹(2004): 大山テフラの岩石記載的特徴と大山最下部テフラ層中のテフラの対比,第四紀研究,43,p.435-p.445

○津久井(1984)によると、以下のとおり。

・噴出物は新・古期噴出物に分けられ、古期には厚い溶岩流を噴出し、また広大な裾野が形成された。新期噴出物のうち上部テフラ累層については詳しい層序が明らかにされた。この間大山は1万年～2万年おきに大きな噴火を繰り返した。長い活動の休止期間は認められない。

津久井(1984)に加筆※岡田・石賀(2000)と加藤他(2004)を参照

DNPの噴出規模の算出方法について

以下のP.22～P.31に示す資料は、関西電力(2019)での評価内容である。

○DNPの噴出規模は、当社が作成したDNPの等層厚線図を用いて算出した。

○DNPの等層厚線図の作成に用いた情報は、以下のとおりである。

- 火山灰アトラスに記載されるDNPに関する情報(等層厚線図)
- 原子力規制委員会(2018)に示される7地点の降灰層厚

原子力規制委員会(2018)に示される7地点のうち、大山池地点、瀬川山地点、越畑地点、水月湖地点、琵琶湖高島沖地点における文献、現地調査結果については、資料集の資料6のとおり。

- ①岡田・谷本(1986)、②田中他(1982)、③野村・田中(1992)に記載されるDNPの降灰層厚に関する情報

上記①～③に示される各地点における文献調査結果については、資料集の資料6のとおり。

DNPの等層厚線図の作成に用いた14地点の降灰層厚の情報は、下表のとおりである。

	評価地点	降灰層厚
原子力規制委員会(2018)に示される7地点	たいせんいけ 大山池	200cm
	かみさいばら いしごし 上斎原(石越)	100cm
	かみさいばら なかつこう 上斎原(中津河)	150cm
	とろかわやま 瀬川山	10～15cm
	こしはた 越畑	25cm
	すいげつこ 水月湖	なし
	びわこたかしまおき 琵琶湖高島沖	5cm
文献に示される7地点	くらよしし はっとり 倉吉市服部	45cm
	くらよしし かせだに はんにや 倉吉市倅谷・般若	110cm
	せきがねちよあ らた 関金町荒田	115cm
	せきがねちよあきかぬしゆく みささちよあくと 関金町関金宿・三朝町福本	220cm
	ちゅうかそんべつしよ 中和村別所	50cm
	にんぎょえうげ 人形峠	120cm
	かみさいばらそんおんぼらちよすいち みなみ 上斎原村恩原貯水池南	120cm

DNPの降灰層厚に関する文献①～③の結果から等層厚線図の作成に反映する地点について

・①岡田・谷本(1986)で記載される7地点(大山池地点は除く)については、火山灰アトラスに引用されている文献でもこれらに近い地点で同程度の層厚が示されていることより、これら7地点の層厚の値は概ね妥当であると判断した。

等層厚線図の作成に岡田・谷本(1986)で記載される7地点の降灰層厚に関する情報を反映した

・②田中他(1982)、③野村・田中(1992)で記載される2地点については、火山灰アトラスに引用される文献には、これら2地点に近い地点がなく、その層厚の値の確からしさを確認できなかった。

等層厚線図の作成にこれら2地点の降灰層厚に関する情報は、参考扱いとした

・原子力規制委員会(2018): 大山火山の大山生竹テフラの噴出規模見直しに伴う報告徴収命令の発出について(案),平成30年12月12日
 ・関西電力(2019): 大山火山灰に係る新知見を踏まえた噴出規模と原子力発電所ごとの敷地における降下火砕物の最大層厚に関する評価結果について

等層厚線図に用いた降灰層厚情報のまとめ

○当社がDNPの等層厚線図の作成にあたって火山灰アトラス以外に用いる地点は、下図に示す報告徴収命令で示された7地点と岡田・谷本(1986)に示された7地点の計14地点(参考扱いの2地点は除く)である。



等層厚線図の作成について

- ・14地点の降灰層厚に関する情報を用いて、100cm、50cm、25cm、15cm、5cm、0cmの6本の等層厚線を作成した。
- ・等層厚線図の作成については、須藤他(2007)に記載される以下の(a)~(c)に示す等層厚線図の作成方法に従った。

【須藤他(2007)による等層厚線図の作成方法】

- (a)等層厚線図は火口から何らかの基準点とした円または楕円などの滑らかな閉じた曲線を描く
- (b)複数の等層厚線は互いに交差しない
- (c)層厚値は火口から離れるにしたがい小さくなる

須藤茂・猪股隆行・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,地質調査研究報告書,58,p.261-p.321

- ・主軸については、火山灰アトラスに示される等層厚線図の主軸を踏襲した。

<①100cmの等層厚線の作成方法>



- ・火山灰アトラスに示される100cmの等層厚線と悴谷・般若地点、大山池地点、上斎原(石越)地点、上斎原(中津河)地点、関金町荒田地点、関金宿・福本地点、人形峠地点及び上斎原村恩原貯水池南地点の8地点が整合しているかを確認し、悴谷・般若地点を除く7地点は、火山灰アトラスに示される100cmの等層厚線に概ね整合していることを確認した。
- ・悴谷・般若地点は、火山灰アトラスに示される100cmの等層厚線の外側となっているため、火山灰アトラスの100cmの等層厚線を若干変更した。

＜②50cmの等層厚線の作成方法＞



青文字は、報告徴収命令で示された地点を示す
赤文字は、DNPの降灰層厚に関する文献に記載される地点を示す
[] は、参考扱いとした地点を示す
出典：地図データ@2018Google,ZENRINに加筆

ちゅうかさん

- ・50cmの等層厚線は、中和村別所地点と倉吉市服部地点のやや南を通り、火山灰アトラスに示される50cmの等層厚線の東端と大山を結ぶ直線を長辺とする楕円を設定した。
- ・楕円の形状は①で設定した100cmの等層厚線の形状を参考にしつつ、須藤(2007)に記載される(a)に従い形状を楕円に変更した。

<③25cmの等層厚線の作成方法>



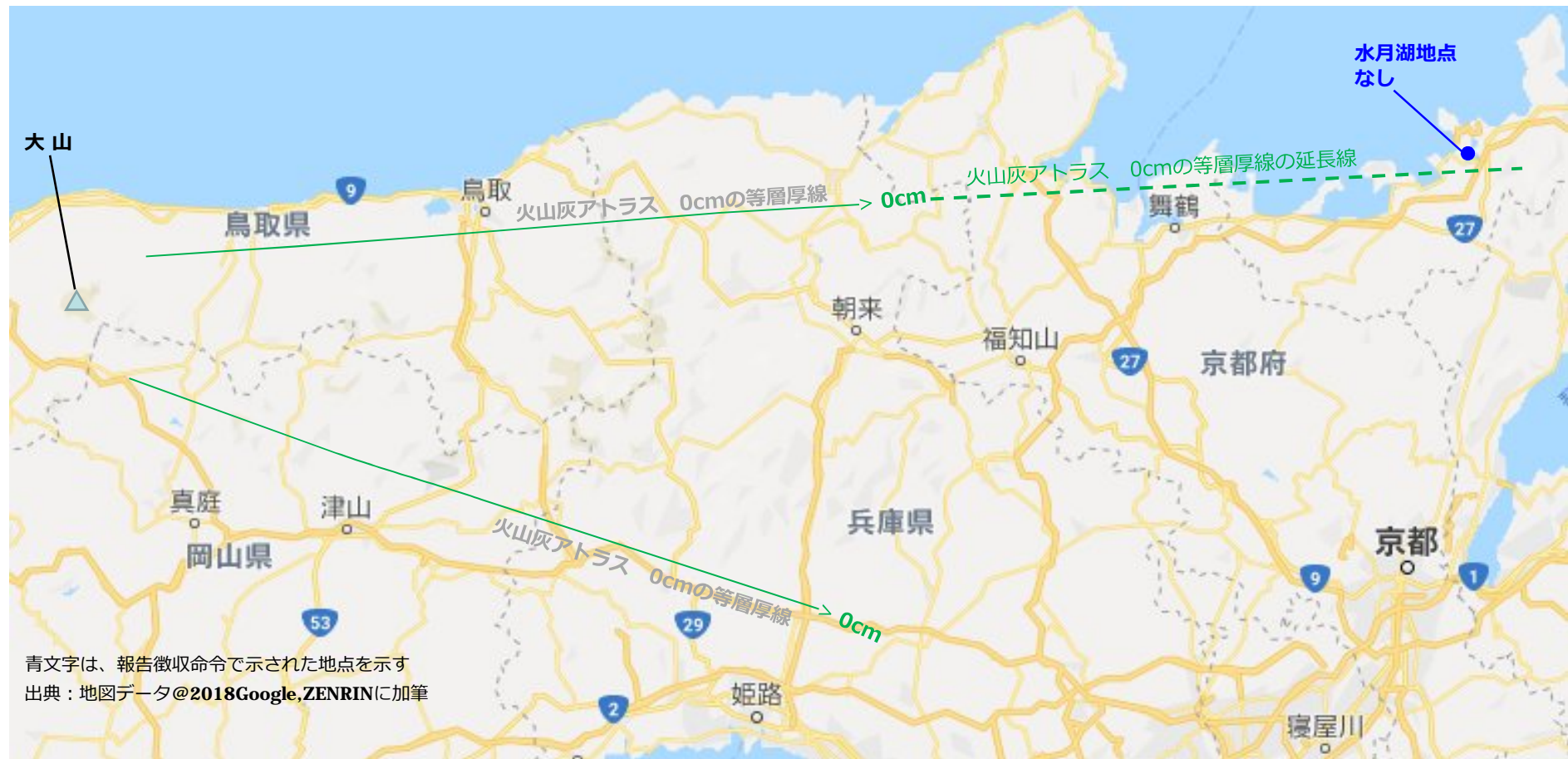
- 25cmの等層厚線は、越畑地点(25cm)と大山を結ぶ直線を長辺とする楕円を設定した。
- 楕円の形状は②で設定した50cmの等層厚線と瀬川山地点(15cm)の間を通過するようにして①、②で設定した100cm及び50cmの等層厚線の形状と整合するようにした。

<④15cm、⑤5cmの等層厚線の作成方法 >



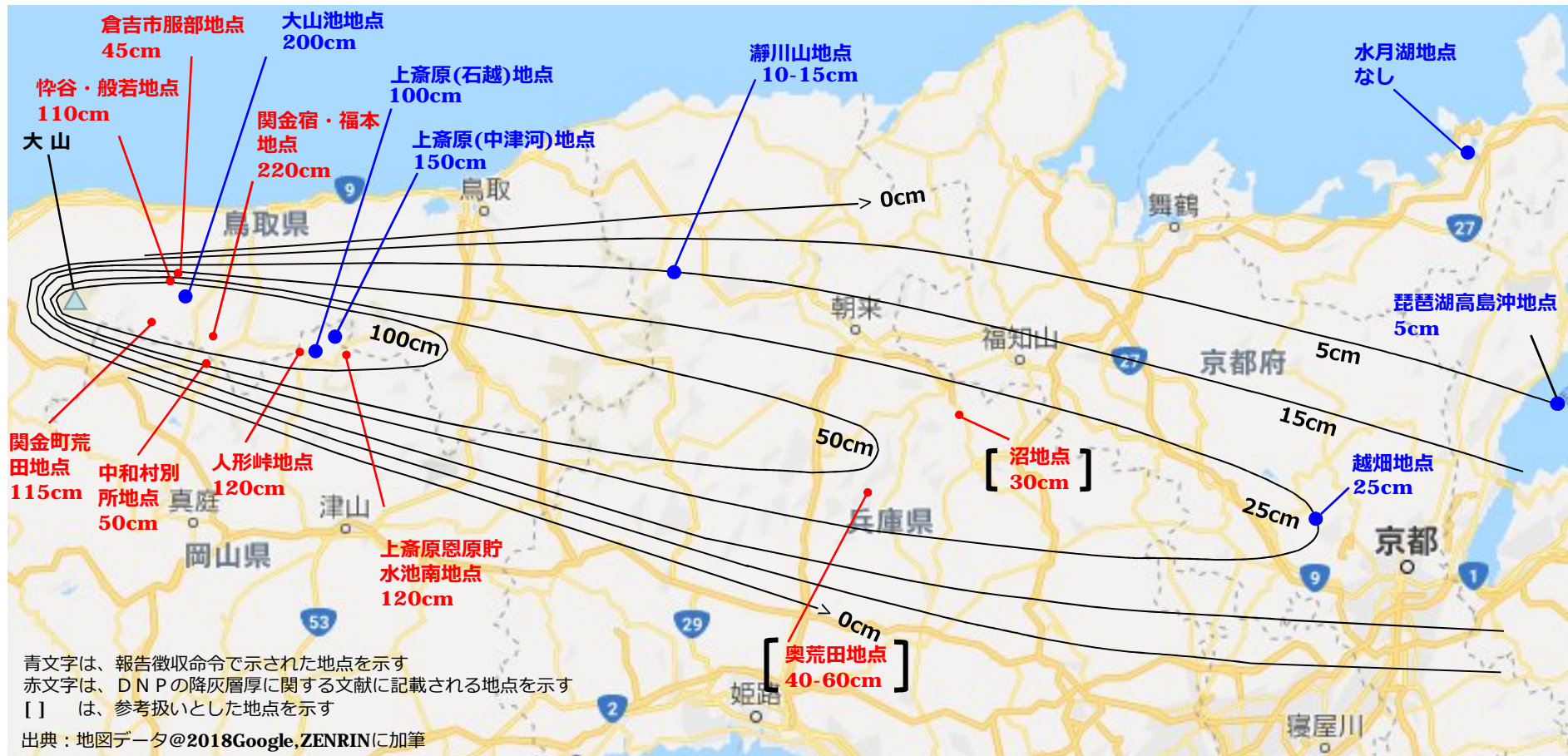
- ・15cmの等層厚線は瀬川山地点(15cm)を通り、また5cmの等層厚線は琵琶湖高島沖地点(5cm)を通り、双方とも①～③で設定した100cm、50cm及び25cmの等層厚線の形状と整合するような楕円の一部を設定した。
- ・双方とも主軸方向に降灰層厚を特定もしくは推定することが出来る情報がないため、楕円は閉じない形状とした。

<⑥0cmの等層厚線の作成方法>



- ・0cmの等層厚線は、火山灰アトラスに示される0cmの等層厚線の延長線が水月湖地点の層厚と整合していることを確認したため、火山灰アトラスの0cmの等層厚線をそのまま採用した。

<100,50,25,15,5,0cmの等層厚線を重ね合わせた図>



- ・参考扱いとした沼地点(30cm)については、今回作成した等層厚線図と矛盾しない。
- ・同じく参考扱いとした奥荒田地点(40-60cm)については、降灰層厚を最低値である40cmとすれば今回作成した等層厚線図と矛盾しない。

等層厚線図から噴出量を算出する方法と降下火砕物の噴出量の算出結果について

- ・等層厚線図から噴出量を算定する方法は、①複数の閉じられた等層厚線から求める方法と、②単一の閉じられた等層厚線から求める方法がある。
- ・今回、作成した等層厚線のうち、閉じられた等層厚線は100cm、50cm、25cmの3本であり、15cm、5cmなど等層厚線図の幾つかは閉合して描けないことおよび給源から近傍範囲と遠方範囲において閉じられた等層厚線のデータが少ないことから、①の方法で必要となる火山からの距離と層厚の関係を精度よく求めることが出来ない可能性がある。一方、②の方法は、簡便法であり一つの等層厚線の面積から全体積を見積もることが可能な方法である。降下火砕物全体の等層厚分布が把握できていない場合にも用いることが可能な方法であり、山元(2017)にも同様な記載が示されている。
- ・上記より、等層厚線図から噴出量を算出する方法として②の単一の閉じた等層厚線から求められる方法であるLegros法とHayakawa法の方法を採用した。
- ・閉じた3本の等層厚線(100cm、50cm、25cm)のそれぞれの面積を求め、降灰層厚と面積から噴出量を算出した。面積はGoogle Earth Pro(バージョン:7.3.2.5776(64-bit))により算出した。更に三斜法による面積計算を実施することによって、その面積が妥当であることを確認した(詳細は、資料集の資料7のとおり)。

<Legros法を用いたDNPの降下火砕物の噴出量算出結果>

噴出量(km³) = 3.69 × 降灰層厚(cm) × 面積(km²)

降灰層厚(cm)	25	50	100
面積(km ²)	3,589	1,646	474
噴出量(km ³)	3.4	3.1	1.8

<Hayakawa法を用いたDNPの降下火砕物の噴出量算出結果>

噴出量(km³) = 12.2 × 降灰層厚(cm) × 面積(km²)

降灰層厚(cm)	25	50	100
面積(km ²)	3,589	1,646	474
噴出量(km ³)	11.0	10.1	5.8

以上より、DNPの降下火砕物の噴出量はLegros法の場合、1.8～3.4km³、Hayakawa法の場合、5.8～11.0km³となった。

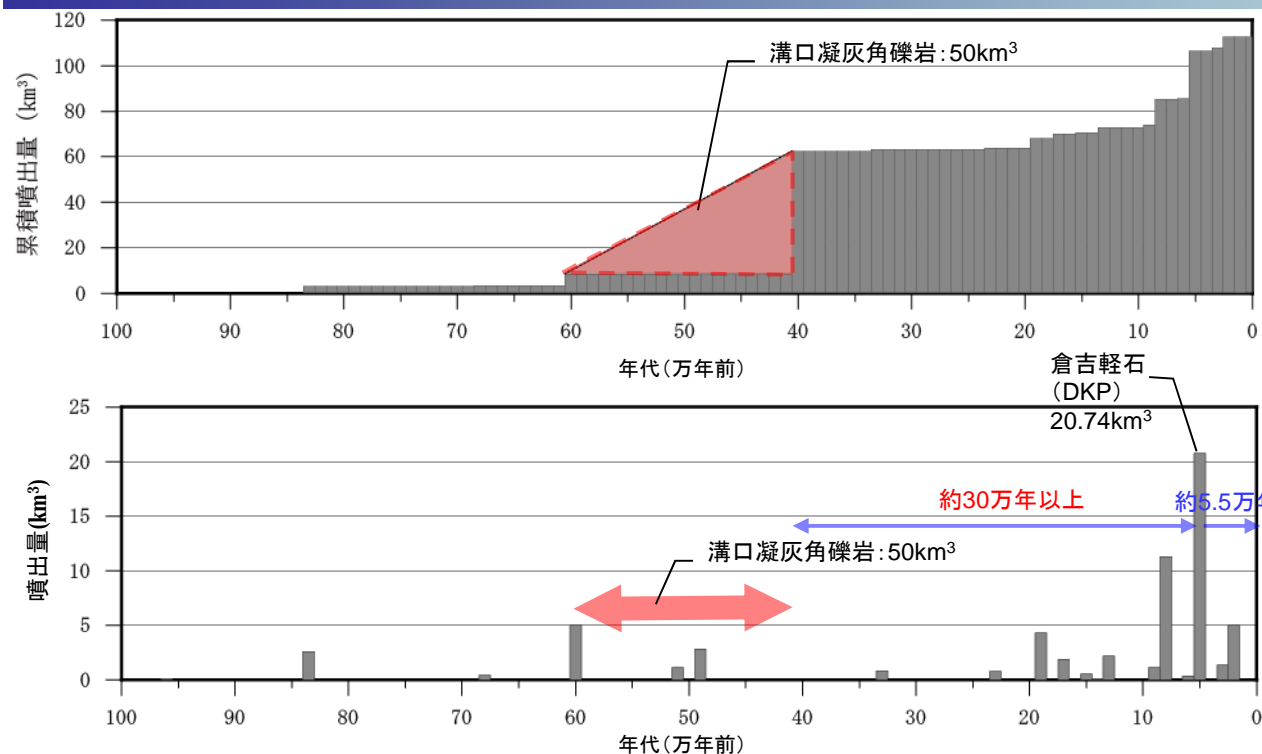
【原子力規制委員会の評価】

原子力規制委員会(2018)によれば、DNPの噴出規模は既往の研究で考えられてきた規模を上回る10km³以上と考えられるとしている。

これらを踏まえ、火山影響評価上、大山生竹軽石(DNP)の降下火砕物の噴出量は、11.0km³とする。

・山元(2017): 大山火山噴火履歴の再検討, 地質調査研究報告, 第68巻, 第1号, p.1-16, 2017

・原子力規制委員会(2018): 大山火山の大山生竹テフラの噴出規模見直しに伴う報告徴収命令の発出について(案), 平成30年12月12日



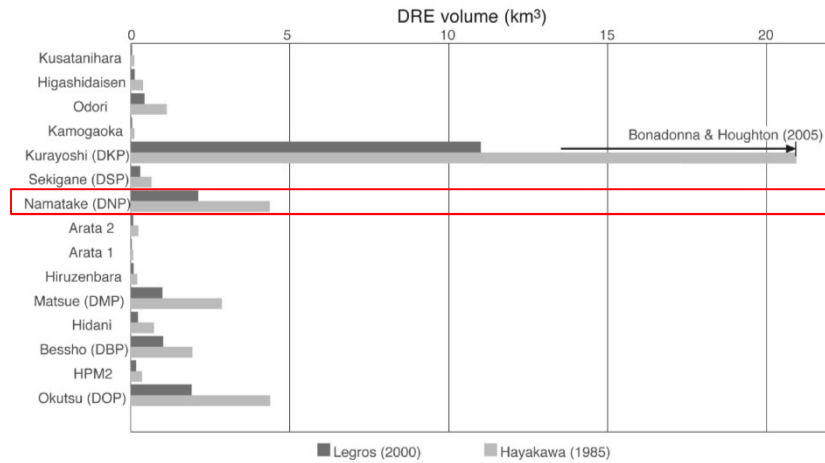
噴出物	噴出年代 (万年)	噴出量 (km ³)	引用
鏝拔山	96.0	0.10	(2)
下蒜山	83.5	2.60	(2)
飯戸山	68.0	0.40	(2)
二股山溶岩	60.0	5.00	(2)
溝口凝灰角礫岩	40.0-60.0	50.00	(3)
中蒜山溶岩	51.0	1.10	(2)
上蒜山溶岩	49.0	2.80	(2)
c p m	33.0	0.80	(1)
h p m 1	23.0	0.76	(1)
奥津軽石 (DOP)	19.0	4.29	(1)
樋谷軽石 (HdP)	17.0	1.87	(1)
h p m 2	15.0	0.30	(1)
別所軽石 (DBP)	15.0	0.23	(1)
蒜山原軽石 (DHP)	14.0	0.14	(1)
松江軽石 (DMP)	13.0	2.19	(1)
名和火砕流	9.5	1.00	(2)
荒田軽石 1 (DAP1)	9.3	0.14	(1)
荒田軽石 2 (DAP2)	8.3	0.26	(1)
生竹軽石 (DNP)	8.0	11.00	-
関金軽石 (DSP)	6.8	0.33	(1)
倉吉軽石 (DKP)	5.5	20.74	(1)
鴨ヶ丘火山灰 (KmA)	5.0	0.04	(1)
下のホーキ (sh) (DSs※1)	2.4	0.37	(1)
上のホーキ (Uh) (DHg※1)	2.3	0.44	(1)
弥山軽石 (MSP) (DMs※1)	2.1	0.54	(1)
弥山一三結峰※2	2.0	5.00	(2)

- (1)須藤茂・猪股隆行・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,地質調査研究報告書,58,p.261-p.321
- (2)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ver.1.0(CD-ROM),日本火山学会
- (3)津久井雅志・西戸裕嗣・長尾敬介(1985): 蒜山火山群・大山火山のK-Ar年代,地質学雑誌,91,p.279-p.288

※1)加藤茂弘・山下徹・檀原徹(2004): 大山テフラの岩石記載的特徴と大山最下部テフラ層中のテフラの対比,第四紀研究,43,p.435-p.445
 ※2)第四紀カタログ編集委員会編(1999): 溶岩円頂丘3km3、積原火砕流1km3、弥山火砕流0.5km3、清水原火砕流0.5km3の合計

- 須藤他(2007)、第四紀カタログ(1999)、津久井他(1985)及び上述の資料を用いて、大山の噴火履歴を整理した。
- 津久井他(1985)によると、大山は100万年前頃に火山活動を開始し、60万年前～40万年前にかけて溝口凝灰角礫岩等が噴出・堆積したとされている。
- 40万年前以降、最も規模の大きな噴火は、大山倉吉軽石(DKP)であったが、DKP噴火に至る活動間隔は、DKP噴火以降の経過時間に比べて十分長いことから、次のDKP規模の噴火までには、十分時間的な余裕があると考えられ、発電所運用期間中におけるこの規模の噴火の可能性は十分低いと考えられる。
- 一方、それ以外の噴火については、DKP噴火以前もしくは以降においても繰り返し生じている。

・山元孝広(2017): 大山火山噴火履歴の再検討, 地質調査研究報告, 第68巻, 第1号, p.1-16, 2017 より抜粋・加筆



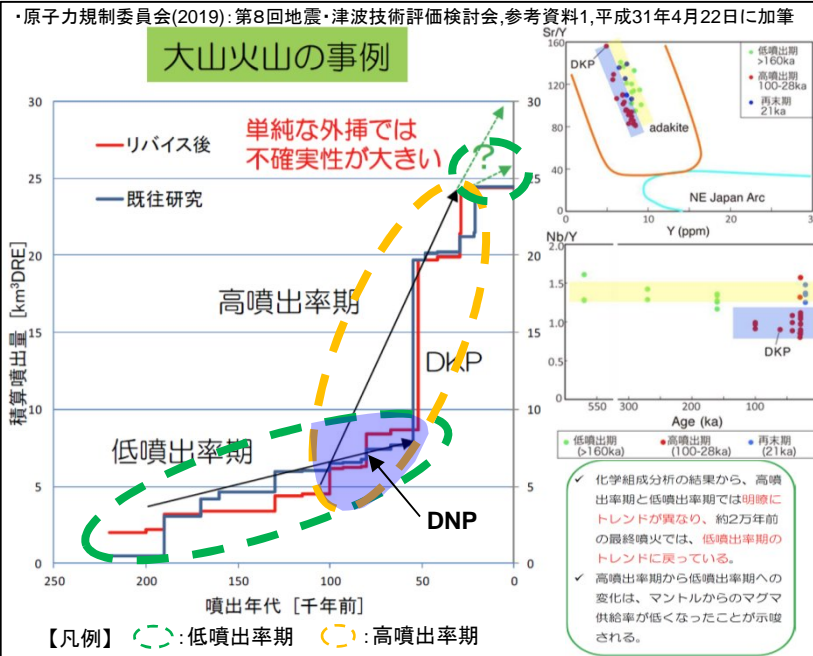
第10図 岩石換算した Legros (2000) 法最小体積と Hayakawa (1985) 法体積の比較。DKPについては Bonadonna and Houghton (2005) の手法による体積 (第11図) も表示している。
 Fig. 10 Comparison between dense-rock equivalent volumes for the pyroclastic fall deposits from Daisen Volcano by the methods in Legros (2000) and Hayakawa (1985). The result of the power-law fit by Bonadonna and Houghton (2005) in Figure 11 is only added for DKP.

第2表 降下火砕堆積物の等層厚線の囲む面積と最小体積。最小体積は Legros (2000) の手法により算出し、最も大きな最小体積を与える等層厚線値のセルに影をつけている。等層厚線データのうち、本研究のものはボールド体、岡田・石賀 (2000) のものはイタリック体、竹本 (1991) のものはアンダーラインの数字で示している。n.d. は、データなし。降下火砕物の名称は以下の文献による：^a 町田・新井 (1979)；^b 津久井 (1984)；^c 岡田・石賀 (2000)；^d 加藤ほか (2004)。デイスaitの岩石密度は 2,300 kg/m³。

Table 2 Area within isopachs and minimum volume of pyroclastic fall deposits. Minimum volume was determined by the method in Legros (2000), and the isopach cell presenting the largest minimum volume is shaded. Isopach data by this study, Okada and Ishiga (2000) and Takemoto (1991) are shown as numerals in bold letter, italic letter and underlined, respectively. n.d. means no data. The names of pyroclastic fall deposits were defined by ^a Machida and Arai (1979); ^b Tsukui (1984); ^c Okada and Ishiga (2000); ^d Katoh *et al.* (2004). Density of dense-rock dacite is 2,300 kg/m³.

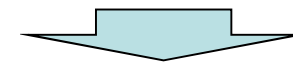
Tephra	10-cm	20-cm	30-cm	40-cm	50-cm	60-cm	80-cm	100-cm	200-cm	Min Volume (km ³)	DRE Volume (km ³)
	isopach (km ²)	isopach (km ²)	isopach (km ²)	isopach (km ²)	isopach (km ²)	isopach (km ²)	isopach (km ²)	isopach (km ²)			
Kusatanihara ^b	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	<i>5.3 × 10¹</i>	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	9.8 × 10 ⁻²	3.4 × 10 ⁻²
Higashidaisen ^b	n.d.	n.d.	n.d.	<i>2.5 × 10²</i>	<i>1.8 × 10²</i>	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	3.7 × 10 ⁻¹	1.3 × 10 ⁻¹
Odori ^c (Upper)	n.d.	<i>4.6 × 10²</i>	<i>1.4 × 10²</i>	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	3.4 × 10 ⁻¹	2.2 × 10 ⁻¹
Odori ^c (Lower)	n.d.	<i>4.5 × 10²</i>	<i>2.0 × 10²</i>	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	3.3 × 10 ⁻¹	2.2 × 10 ⁻¹
Kamogaoka ^b	<i>1.5 × 10²</i>	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	5.4 × 10 ⁻²	3.5 × 10 ⁻²
Kurayoshi (DKP) ^a	8.6 × 10⁴	3.8 × 10⁴	n.d.	n.d.	<i>1.1 × 10⁴</i>	n.d.	n.d.	<i>3.0 × 10³</i>	n.d.	3.2 × 10 ¹	1.1 × 10 ¹
Sekigane (DSP) ^a	n.d.	1.2 × 10³	n.d.	n.d.	<i>2.1 × 10²</i>	n.d.	n.d.	<i>1.2 × 10²</i>	n.d.	8.5 × 10 ⁻¹	3.0 × 10 ⁻¹
Namatake (DNP) ^a	n.d.	n.d.	5.5 × 10³	n.d.	2.9 × 10³	n.d.	n.d.	1.4 × 10³	<i>1.2 × 10²</i>	6.1 × 10 ⁰	2.1 × 10 ⁰
Arata 2 ^c	n.d.	n.d.	<i>2.1 × 10²</i>	n.d.	n.d.	n.d.	<i>6.7 × 10¹</i>	n.d.	n.d.	2.3 × 10 ⁻¹	8.0 × 10 ⁻²
Arata 1 ^c	n.d.	n.d.	<i>6.3 × 10¹</i>	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	7.0 × 10 ⁻²	2.4 × 10 ⁻²
Hiruzenbara ^b	n.d.	<i>3.4 × 10²</i>	n.d.	<i>1.3 × 10²</i>	n.d.	<i>7.4 × 10¹</i>	<i>2.8 × 10¹</i>	n.d.	n.d.	2.5 × 10 ⁻¹	8.7 × 10 ⁻²
Matsue (DMP) ^a	n.d.	3.8 × 10³	n.d.	n.d.	1.5 × 10³	n.d.	n.d.	<i>7.4 × 10²</i>	<i>2.9 × 10²</i>	2.9 × 10 ⁰	9.9 × 10 ⁻¹
Hidani ^b	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	<i>8.7 × 10¹</i>	6.4 × 10 ⁻¹	2.2 × 10 ⁻¹
Bessho (DBP) ^c	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	1.6 × 10³	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	2.9 × 10 ⁰	1.0 × 10 ⁰
HPM2 ^c	n.d.	<i>6.2 × 10²</i>	n.d.	<i>2.7 × 10²</i>	n.d.	<i>1.3 × 10²</i>	<i>4.0 × 10¹</i>	n.d.	n.d.	4.6 × 10 ⁻¹	1.6 × 10 ⁻¹
Okutsu (DOP) ^d	n.d.	7.5 × 10³	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	<i>2.9 × 10²</i>	5.5 × 10 ⁰	1.9 × 10 ⁰

○ 山元(2017)によれば、大山火山起源の降下火砕物について、Hayakawa法及びLegros法によりDRE体積が示されている。
 ○ このうちLegros法による降下火砕物の最小体積として、DNPは約6.1km³と示されている。



文献による噴火履歴

- 原子力規制委員会(2019)によると、大山火山のマグマ特性の時間変化を検討した結果、スラブメルト指標であるSr/Y-Yの関係、メルト-流体指標であるNb/Y-Baの関係から、高噴出率期と低噴出率期では噴出物が異なる組成トレンドを持つことが明瞭であるとし、DKPは高噴出率期のトレンドと一致し、約2万年前の最終噴火では低噴出率期のトレンドに戻っているとされている。
- 原子力規制委員会(2019)によると、DKPは高噴出率期に、DNPは既往研究では低噴出率期に、リバイス後においては高噴出率期に発生したと示されている。
- Yamamoto and Hoang(2019)によると、大山のアダカイトについてK₂O量の高いグループ(HKG)と低いグループ(LKG)に分類できるとし、LKGのアダカイトは約10万年前から約2万年前の高噴出率期に発生し、HKGのアダカイトはその高噴出率期の前後に発生したとしている。また、DNP及びDKPはLKGに属するとしている。
- 原子力規制委員会(2019)及びYamamoto and Hoang(2019)によると、DKP以外の繰り返し発生している噴火は、高噴出率期と低噴出率期の双方で発生している。



- 巨大噴火並みに大きいDKP規模の噴火は、高噴出率期でのみ発生すると考えられ、低噴出率期に戻ったとされる現在において、発電所運用期間中におけるDKP規模の噴火の可能性は十分低いと考えられる。
- 原子力規制委員会(2019)の既往研究では低噴出率期に、リバイス後においては高噴出率期に発生したとされるDNPについて、火山影響評価上、低噴出率期に発生した噴火と見做して火山影響評価の対象として考慮する。
- また、上記より、高噴出率期に発生したDKPと、低噴出率期に発生したDNPは一連の巨大噴火では無いと評価する。

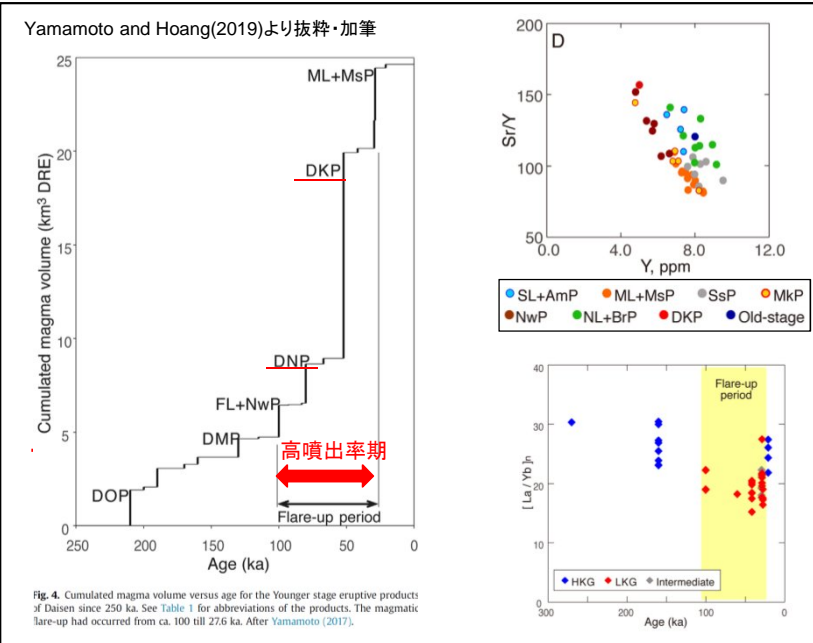
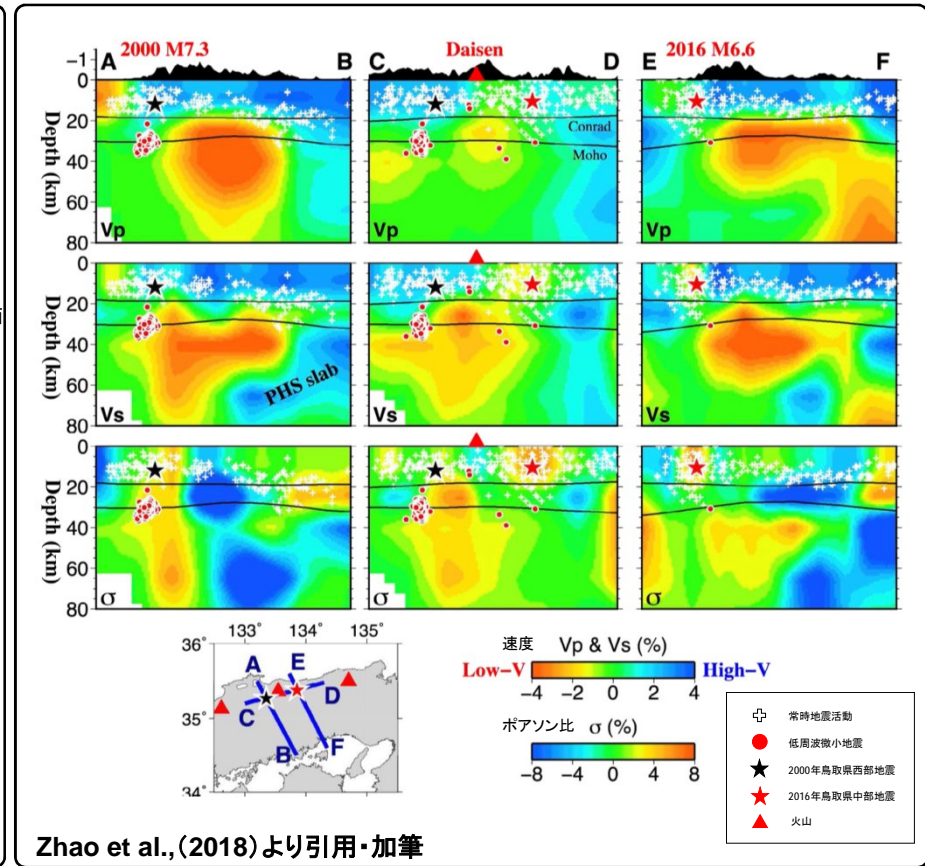
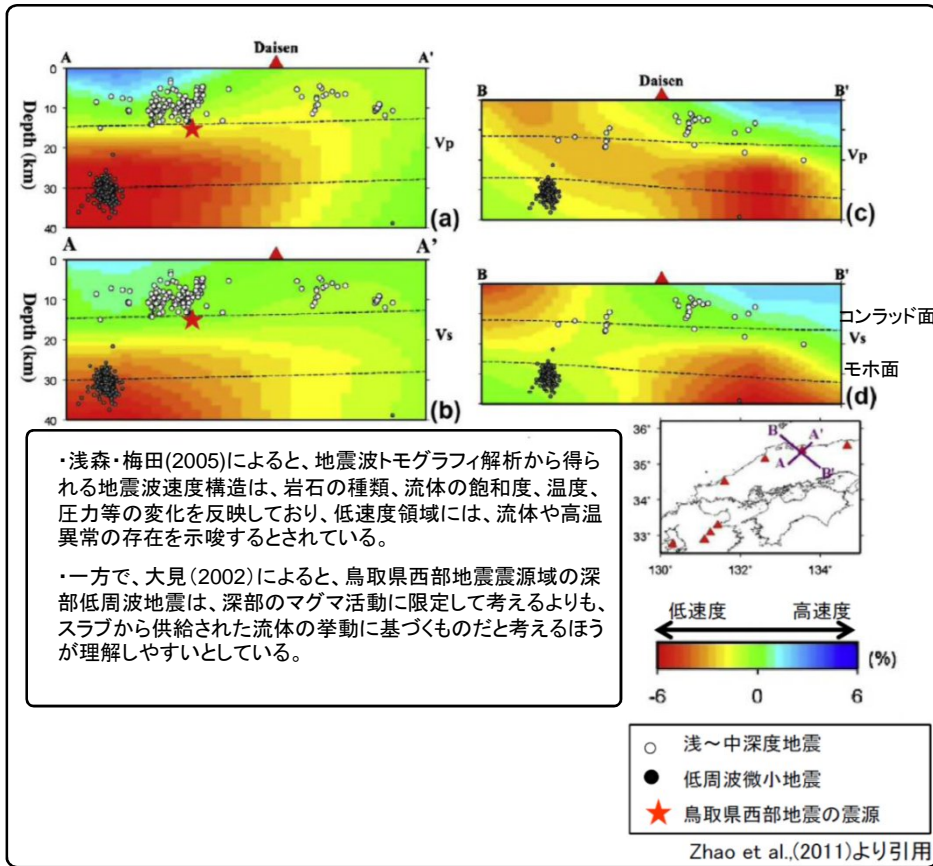


Fig. 4. Cumulated magma volume versus age for the Younger stage eruptive products of Daisen since 250 ka. See Table 1 for abbreviations of the products. The magmatic flare-up had occurred from ca. 100 till 27.6 ka. After Yamamoto (2017).

・原子力規制委員会(2019):第8回地震・津波技術評価検討会,参考資料1,平成31年4月22日
・Yamamoto and Hoang(2019):Geochemical variations of the Quaternary Daisen adakites, Southwest Japan, controlled by magma production rate. LITHOS 350-351 (2019) 105214,



- 保守的に、大山の地下深部の低速度層をマグマ溜りとして評価した場合においても、これら低速度層は20km以深に位置しており、爆発的噴火を引き起こす珪長質マグマの浮力中立点の深度7kmより深い位置にある。
- Zhao et al.,(2011)とこの研究をさらに進めたZhao et al.,(2018)に示されている大山の地下深部に広がる低速度層の上端深度を比較した結果、双方とも同程度の20kmにあり、大山の地下深部に広がる低速度層の深度に変化がない。

・浅森浩一・梅田浩司(2005): 地下深部のマグマ・高温流体等の地球物理学的調査技術—鬼首・鳴子火山地域および紀伊半島南部地域への適用—, 原子力バックエンド研究, 11, p.147—p.156

・Dapeng Zhao, Wei Wei, Yukihisa Nishizono, Hirohito Inakura(2011): Low frequency earthquakes and tomography in western Japan: Insight into fluid and magmatic activity, Journal of Asian Earth Sciences, 42, p.1381—p.1393

・Dapeng Zhao, Xin Liu and Yuanyuan Hua(2018): Tottori earthquakes and Daisen volcano: Effects of fluids, slab melting and hot mantle upwelling. Earth and Planetary Science Letters, 485, p.121—p.129.

・大見士朗(2002): 西南日本内陸の活断層に発生する深部低周波地震, 京都大学防災研究所年報, 45B, 平成14年4月, p.545—p.553

・東宮昭彦(1997): 実験岩石学的手法で求まるマグマ溜まりの深さ, 月刊地球, 19, p.720—p.724

・原子力規制委員会(2019):平成31年4月22日,第8回地震・津波技術評価検討会,参考資料1より抜粋

(2) 噴火規模及び影響範囲推定のための調査・研究
(火山影響評価のためのマグマ供給系発達過程の検討)

b.成果概要

- 支笏、阿蘇、鬼界カルデラ等の噴火直前のマグマの温度・圧力条件から、マグマの定置深さを推定した結果、いずれも概ね10km以浅に定置したと推定された。

鬼界カルデラの事例

<マグマの温度推定例>

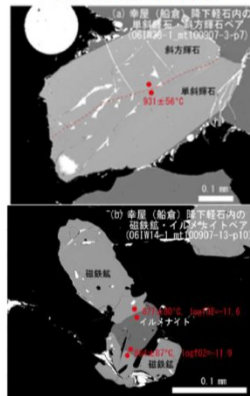


図6 軽石内の輝石及び鉄チタン鉱物反射電子像
斜方輝石と単斜輝石、磁鉄鉱とイルメナイトの固溶体の化学組成分析から晶出温度を推定した

<マグマの圧力推定例>

メルト包有物の含水量は 2.2~4.8 wt%

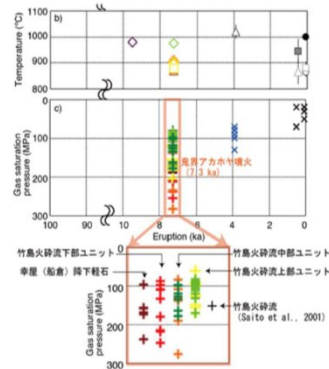


図7 メルト包有物(ガラス)中揮発成分のメルトへの溶解度の圧力依存性から見積もったマグマのガス飽和圧力
Papale et al. (2006) で提案されているケイ酸塩メルトへのH₂O及びCO₂溶解度モデルを適用した

<熱力学計算コード (MELTS) の計算例>

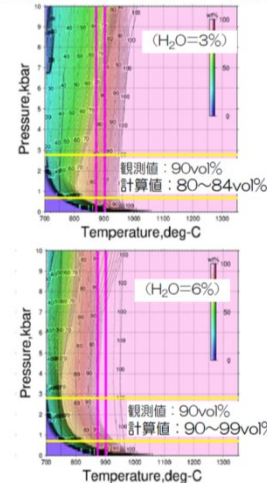


図8 メルト包有物(ガラス)の含水量から求めた圧力条件(竹島火砕流中部ユニット)¹¹

a. 火山影響評価のためのマグマ供給系発達過程の検討

過去に巨大噴火を起こした火山の噴出物組成の時間変化の検討から、巨大噴火の発生前には、珪長質マグマが噴出していることを示した。また、噴火直前のマグマの温度・圧力条件からマグマの定置深さを推定した結果、概ね10km以浅に定置していることを示した。

17

- 原子力規制委員会(2019)によると、過去に巨大噴火を起こした火山の噴火直前のマグマの温度・圧力条件からマグマの定置深さを推定した結果、概ね深度10km以浅に定置していると示されている。
- これは100km³を超えるカルデラ噴火を対象に検討された結果であるが、プリニー噴火であった大山の噴火形式が仮にカルデラ噴火であったとしても、地下深部の低速度層の上端深度の約20kmは、原子力規制委員会(2019)に示されている深度10km以浅に対し、十分に低い位置にある。

【噴火履歴による検討結果】

- 津久井(1984)、守屋(1983)、米倉他(2001)によると、大山は更新世中期に活動を開始し、少なくとも2万年前以降までその活動を続けたとされており、現在は第4期に整理されている。また、第4期の噴出量は第1期～第3期に比べて少なく、数km³とされている。
- 山元(2018)によると、大山は、約10万年前の名和噴火からマグマ噴出率が大きくなり、DKP噴火から弥山噴火を経て、噴出率が急減し約2万年前の三鉢峰噴火で活動を終えた、とされている。
- 気象庁が選定する国内の活火山の中に大山は含まれていない。
- 40万年前以降、最も規模の大きな噴火は、大山倉吉軽石(DKP)であったが、DKP噴火に至る活動間隔は、DKP噴火以降の経過時間に比べて十分長いことから、次のDKP規模の噴火までには、十分時間的な余裕があると考えられ、発電所運用期間中にこの規模の噴火の可能性は十分低いと考えられる。
- 一方、それ以外の噴火については、DKP噴火以前もしくは以降においても繰り返し生じている。
- 原子力規制委員会(2019)によると、大山では、階段ダイヤグラムからマグマ噴出率の変化が認められ、噴出率の高噴出率期と低噴出率期では化学組成のトレンドが明瞭に異なり、DKPは高噴出率期のトレンドと一致し、約2万年前の最終噴火では低噴出率期のトレンドに戻っていると示されている。
- 原子力規制委員会(2019)によると、DKPは高噴出率期に、DNPは高噴出率期と低噴出率期の境界で発生したと示されている。
- Yamamoto and Hoang(2019)によると、DKP及びDNPは約10万年前から約2万年前の間における高噴出率期に発生したと示されている。
- 原子力規制委員会(2019)及びYamamoto and Hoang(2019)によると、DKP以外の繰り返し発生している噴火は、高噴出率期と低噴出率期の双方で発生している。
- 以上のことから、巨大噴火並みに大きいDKP規模の噴火は、高噴出率期でのみ発生すると考えられ、低噴出率期に戻ったとされる現在において、発電所運用期間中におけるDKP規模の噴火の可能性は十分低いと考えられる。
- 高噴出率期あるいは低噴出率期と高噴出率期との境界で発生したとされるDNPは、低噴出率期に発生した噴火と見做すことで、繰り返し発生した噴火の中で最大規模の噴火として評価し、火山影響評価に考慮する。
また、上記より、高噴出率期に発生したDKPと、低噴出率期に発生したDNPは一連の巨大噴火では無いと評価する。

【地下構造による検討結果】

- 爆発的噴火を引き起こす珪長質マグマの浮力中立点の深度は、7km程度に定置すると考えられる。また、原子力規制委員会(2019)によると、過去に巨大噴火を起こした火山の噴火直前のマグマの温度・圧力条件からマグマの定置深さを推定した結果、概ね10km以浅に定置していると示されている。
- Zhao et al., (2011)とこの研究をさらに進めたZhao et al., (2018)に示されている大山の地下深部に広がる低速度層の上端深度を比較した結果、双方とも同程度の20kmにあり、大山の地下深部に広がる低速度層の深度に変化がない。
- 保守的に、大山の地下深部の低速度層をマグマ溜りとして評価した場合においても、これら低速度層は20km以深に位置し、爆発的噴火を引き起こす珪長質マグマの浮力中立点の深度および原子力規制委員会(2019)に示されている深度よりも深い位置に定置している。

・大山については、発電所運用期間中に大山倉吉軽石(DKP)規模の噴火の可能性は十分低いと考えられる。

・火山影響評価上、発電所運用期間中の考慮すべき噴火規模としては、大山倉吉軽石(DKP)以外の噴火の中で最大規模となる大山生竹軽石(DNP)の噴火の可能性を考慮し、その噴出規模を11km³とした降下火砕物シミュレーションを実施する。

大山の降下火砕物の検討条件

- ・大山の降下火砕物による降灰分布を確認するため、降下火砕物シミュレーションコードTephra2を用いて発電所地点における降下火砕物層厚を検討した。
- ・シミュレーションは下表の「基本ケース」に示すパラメータを用い、また、不確かさを考慮した検討も実施した。
 なお、今回の検討において噴出量及び重量を5km³から11km³に変更したが、それ以外のパラメータは変更していない。

項目		基本ケース	不確かさケース						根拠
			ケース1	ケース2	ケース3	ケース4	ケース5	ケース6	
給源位置	X Y Z(噴出標高)	367,944m 3,915,167m 1,729m	基本	基本	基本	基本	基本	基本	国土地理院基盤地図情報 数値標高モデル(10m) 座標:UTM座標系
噴出量		11.0km ³ (変更前:5km ³)	基本	基本	基本	基本	基本	基本	P.37
噴出物総重量		1.10 × 10 ¹³ kg (変更前:5.0 × 10 ¹² kg)	基本	基本	基本	基本	基本	基本	軽石の密度1t/m ³ から算定
噴煙柱高度		25,000m	基本	33,000m	基本	基本	18,000m	基本	P.39
風速		1~12月の各月の の平均値	平均 +標準偏差	基本	基本	平均 -標準偏差	基本	基本	P.40~41
風向		1~12月の各月の の最頻値	基本	基本	基本	基本	基本	基本	
粒径 パラメータ (mm)	最大粒径 最小粒径 中央粒径 標準偏差	1/2 ⁻¹⁰ 1/2 ¹⁰ 1/2 ^{4.5} 1/2 ^{3.0}	基本	基本	基本	基本	基本	基本	Tephra2による 推奨値 P.42
軽石密度		1.0t/m ³	基本	基本	1.0t/m ³	基本	基本	2.6t/m ³	
岩石密度		2.6t/m ³	基本	基本		基本	基本		
拡散係数		10,000m ² /s	基本	基本	基本	基本	基本	基本	万年(2013)より 設定
渦拡散係数		0.04m ² /s	基本	基本	基本	基本	基本	基本	
Fall Time Threshold		3,600秒	基本	基本	基本	基本	基本	基本	

表3 火山爆発度指数 VEI (Volcanic Explosivity Index)
[Newhall and Self (1982) に加筆]

VEI	1	2	3	4	5	6	7	8
噴出物総体積 (km ³)	0.0001 ~	0.001 ~	0.01 ~	0.1 ~	1 ~	10 ~	100 ~	1000~
噴煙柱高度 (km)	0.1~1	1~5	3~15	10~25	>25			

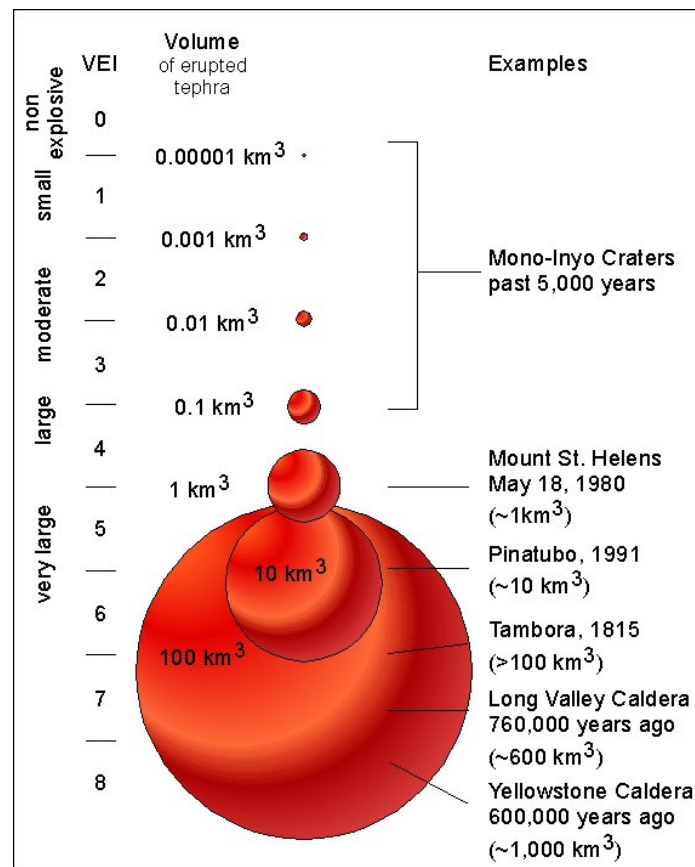
小噴火 中噴火 大噴火 巨大噴火 破局的噴火
 爆発的噴火 →
 ← テフクロロジーに利用
 ← 高頻度 低頻度 →

町田・新井(2011)

表1 観測された諸噴火の最盛期における噴煙柱の高度, 噴出率と継続時間
[Wilson *et al.* (1978), Cas & Wright (1987), 遠藤ほか (1986), 早川 (1991b), Pyle (2000) から編集]

噴火年 (地域名)	噴煙柱高度 (km)	噴出率 (m ³ /s)	継続時間 (h)
Mt. St. Helens 1980 (アメリカ合衆国)	18	12,600	0.23

町田・新井(2011)



The 18 May 1980 eruption of **Mount St. Helens** was a **VEI 5** with an erupted volume of about 1 km³.

(USGS HPより引用)

<http://volcanoes.usgs.gov/images/pglossary/vei.php>

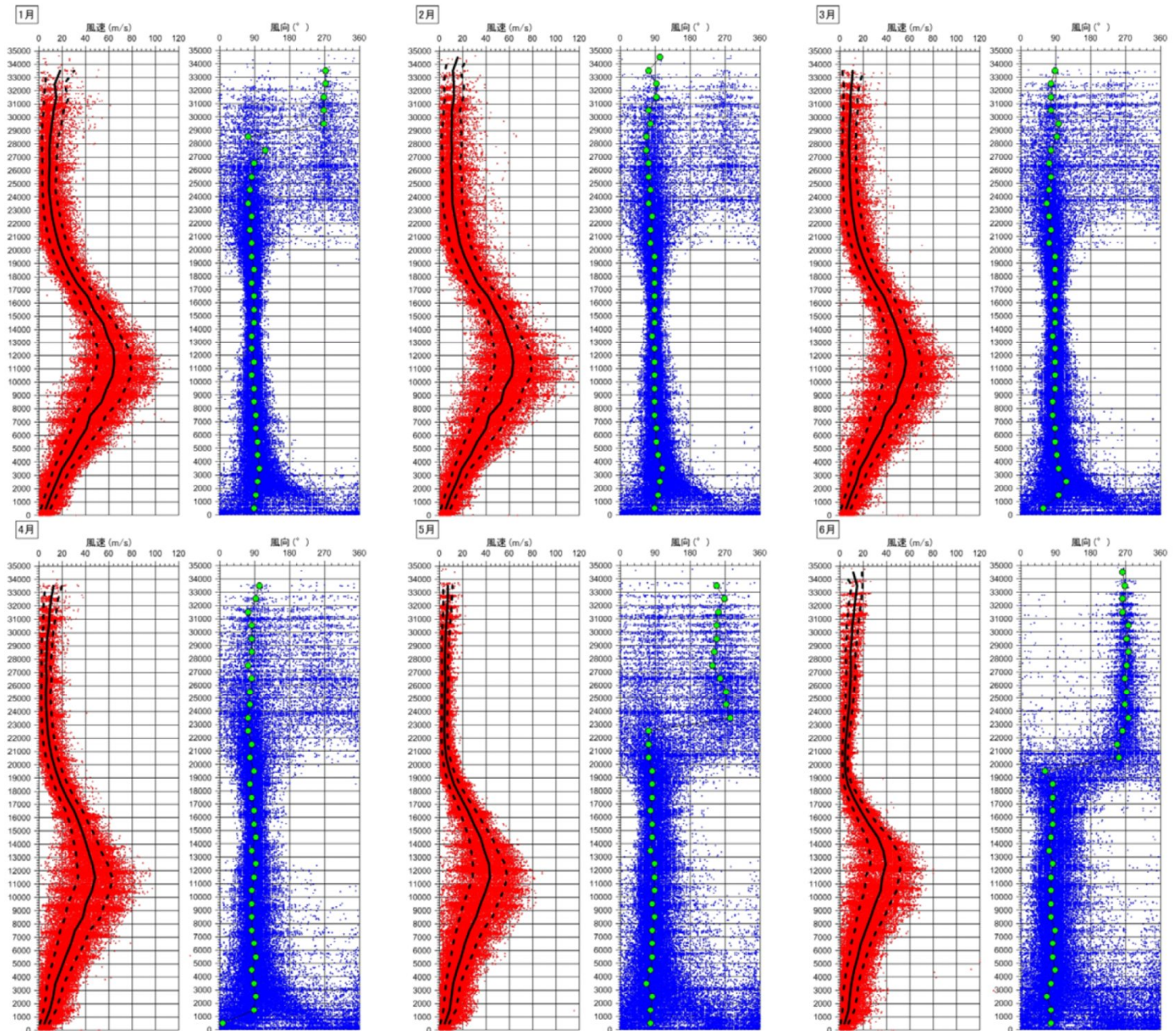
- ・今回の降下火砕物シミュレーションの規模は11km³であることからVEI6となる。
- ・降下火砕物シミュレーションに用いる噴煙柱高度は、町田・新井(2011)より25kmを基本とするが、気象観測データの精度として信頼できる33kmを上限に、VEI5のMt.St.Helens1980の噴煙柱高度の18kmを下限とした不確かさを考慮する。

大山の降下火砕物の検討条件(風速・風向(1/2))

平成29年1月27日
第436回 大飯発電所3, 4号炉 火山影響評価に係る審査会合
資料1-1 再掲

米子
1981年～2009年

- 風速データ
- 風向データ



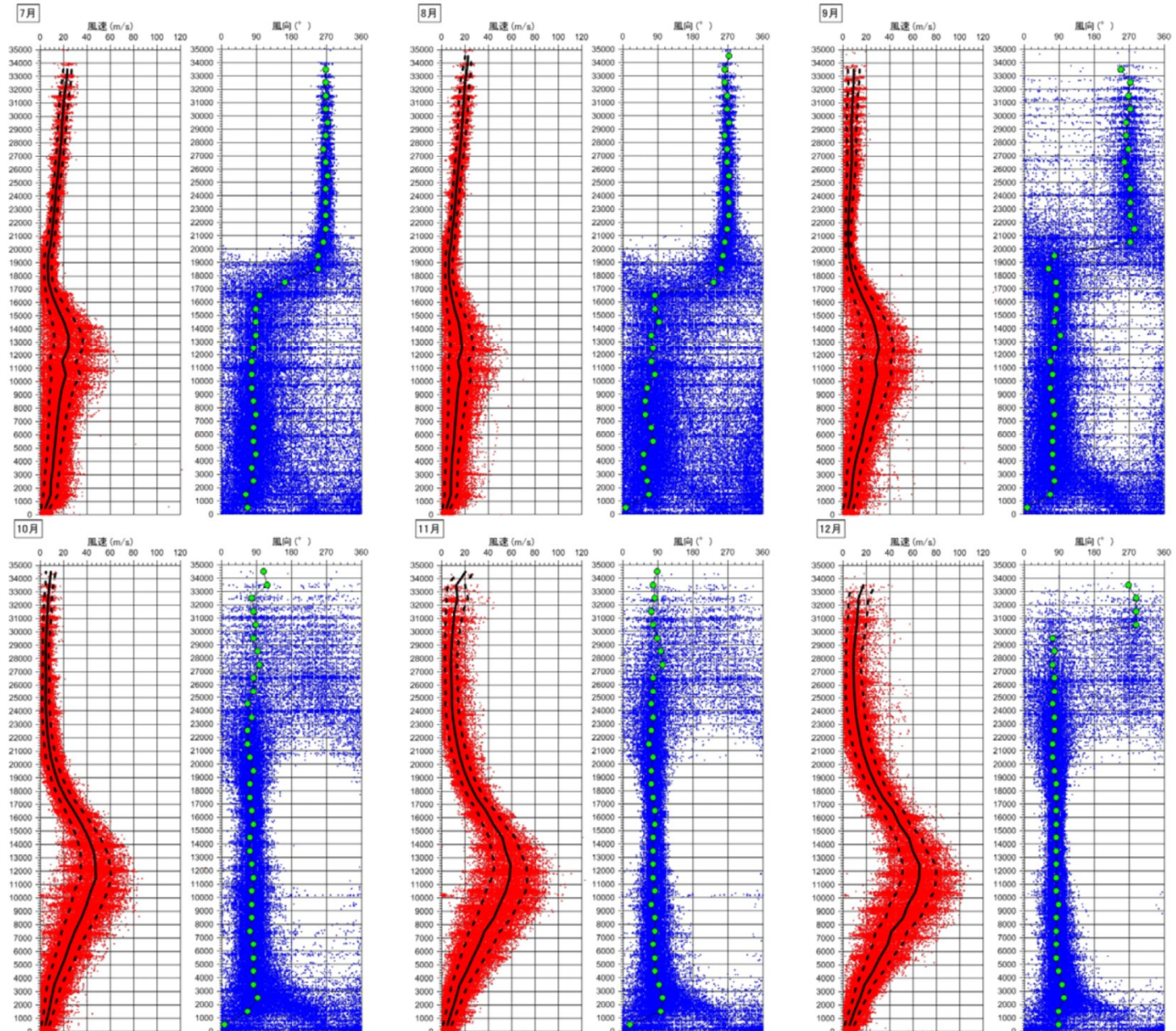
University of Wyomingよりデータ
を取得
<http://weather.uwyo.edu/upperair/sounding.html>

大山の降下火砕物の検討条件(風速・風向(2/2))

平成29年1月27日
第436回 大飯発電所3, 4号炉 火山影響評価に係る審査会合
資料1-1 再掲

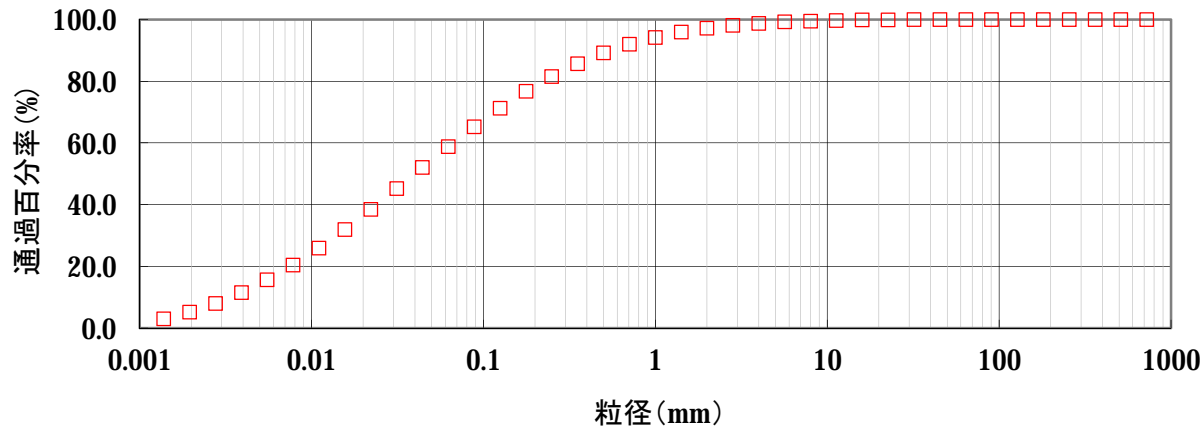
米子
1981年～2009年

- 風速データ
- 風向データ



University of Wyomingよりデータを取得

<http://weather.uwyo.edu/upperair/sounding.html>



噴出物の粒径については、文献^{※1}等に基づき以下のとおり設定。

- ・最大粒径 $1/2^{-10}$
- ・最小粒径 $1/2^{10}$
- ・中央粒径 $1/2^{4.5}$
- ・標準偏差 $1/2^{3.0}$

※1) Forecasting Tephra Dispersion Using TEPHRA2, Michigan Technological University

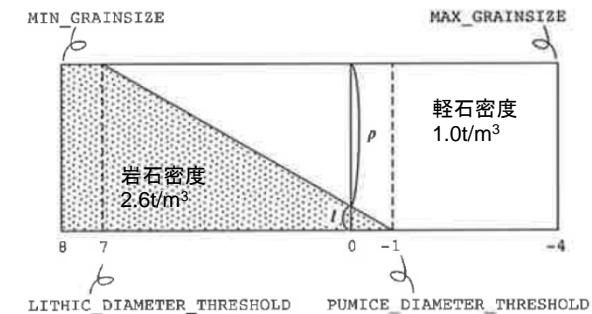
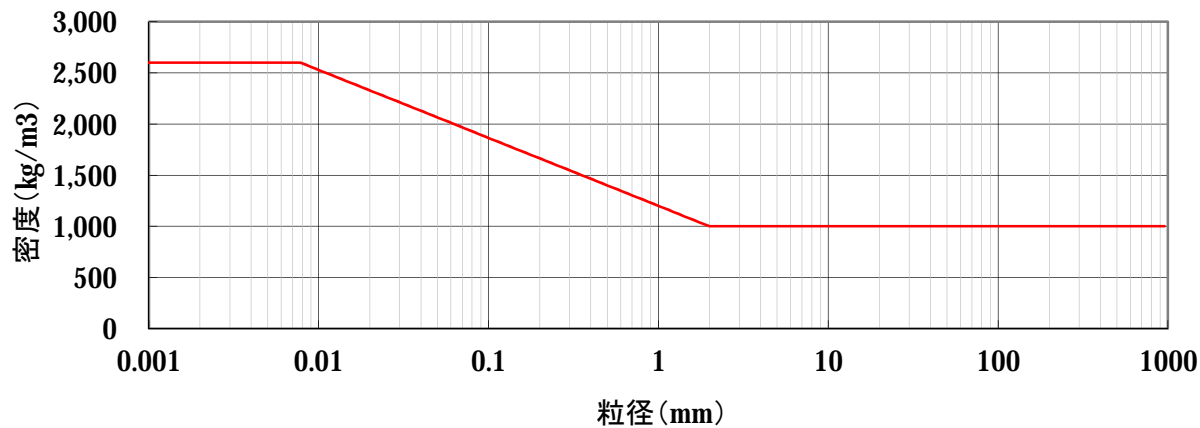


図 6 Tephra2で用いられる粒子密度の概念図

Tephra2では LITHIC_DIAMETER_THRESHOLD よりも小さい粒径では全てが岩片, PUMICE_DIAMETER_THRESHOLD より大きい粒径では全てが軽石とされ, それぞれ指定された密度が適用される. 両 threshold の間では, 岩片と軽石はそれぞれ図中 l と p のように比例配分され, 平均の密度がその径の粒子の密度とされる.

萬年(2013)に一部追記

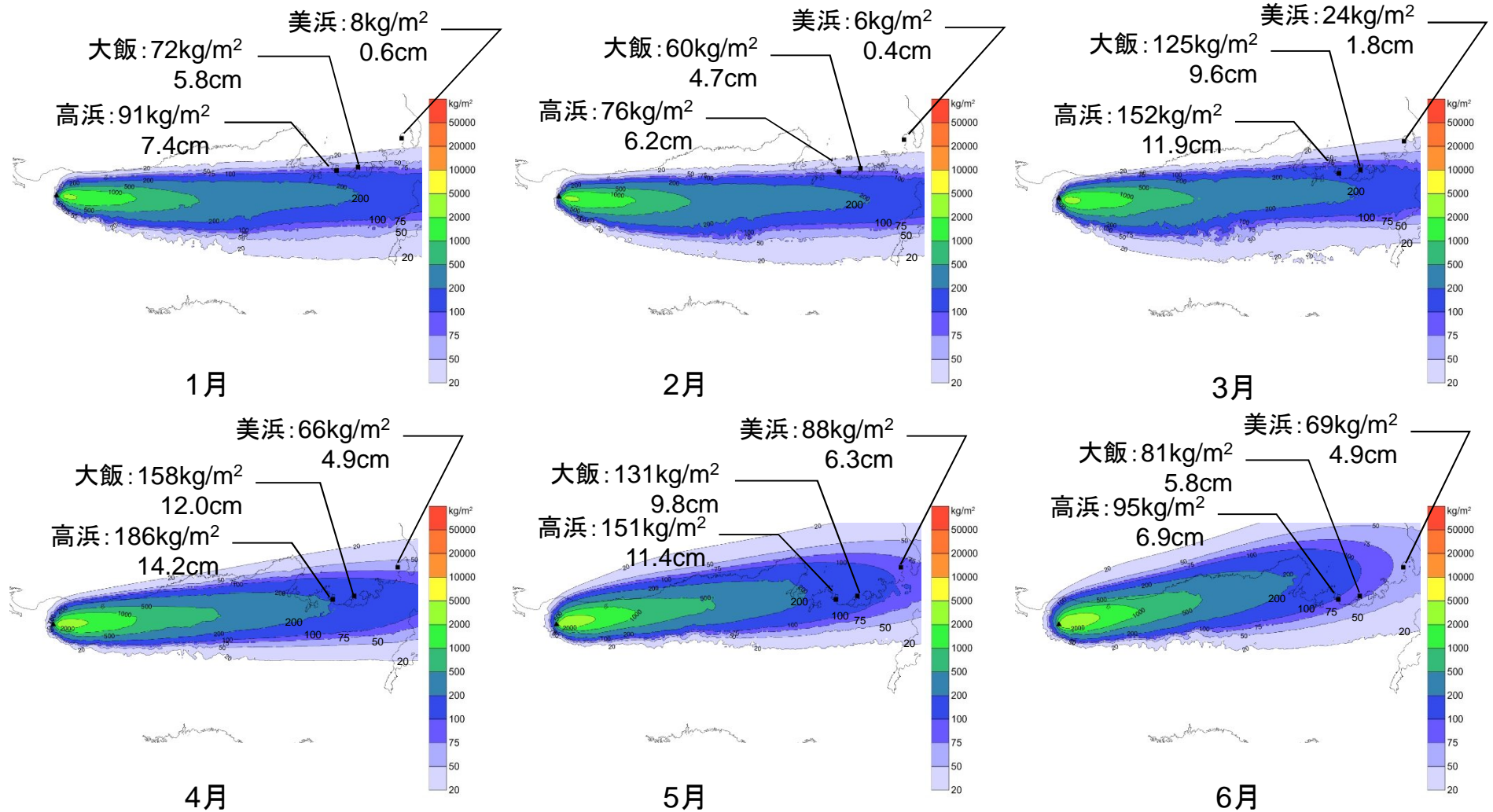
噴出物の密度については、文献^{※2}を参考に以下のとおり設定。

- ・岩石密度: $2.6t/m^3$
- ・軽石密度: $1.0t/m^3$

※2) University of South Florida(2011): Tephra2 Users Manual Spring

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, p.173-p.187

大山の降下火砕物の検討結果 基本ケース(1/2)

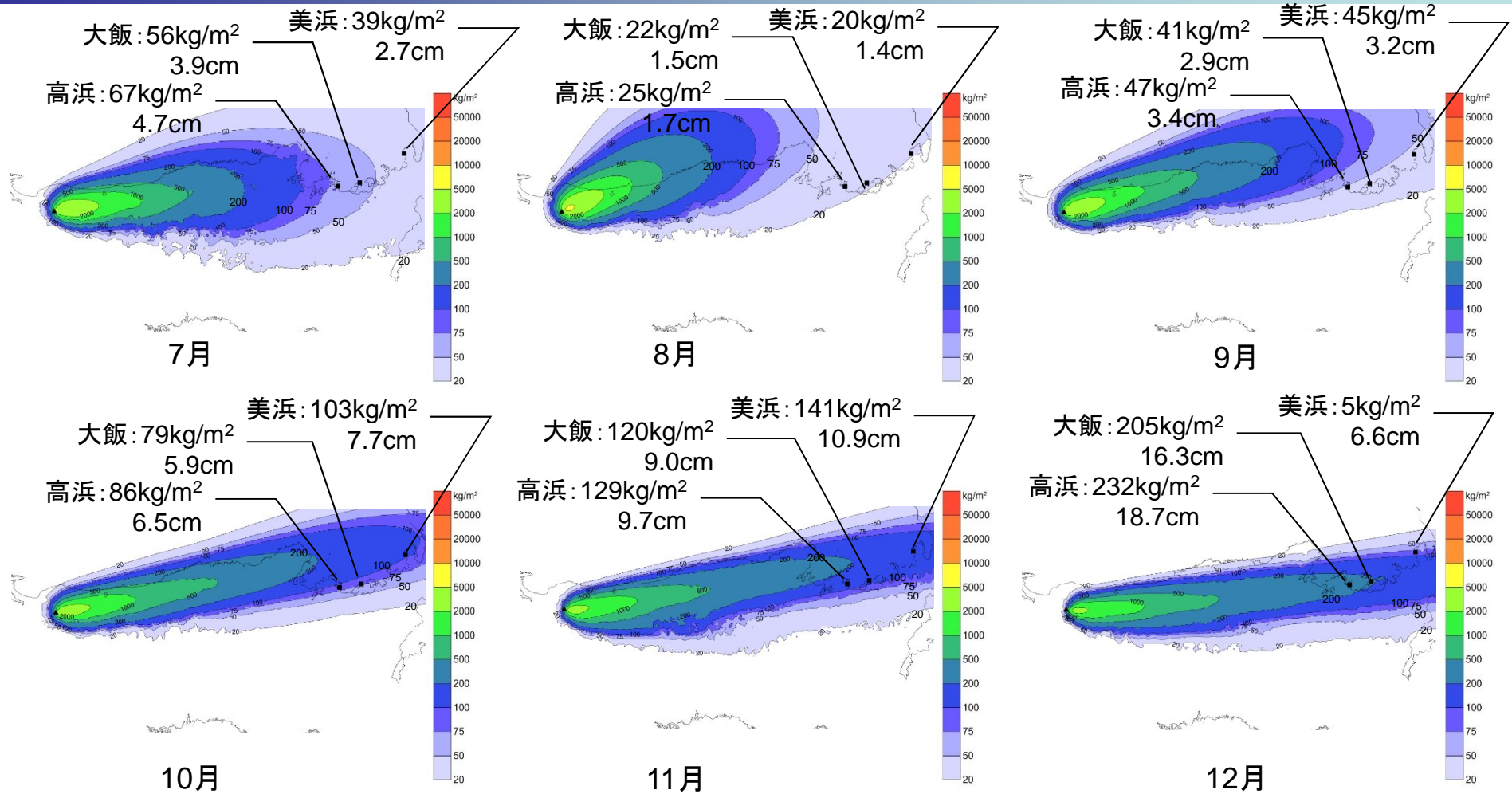


※アイソパックは降下火砕物堆積重量の分布図

上段:発電所位置での降下火砕物堆積重量

下段:発電所位置での降下火砕物堆積層厚(堆積した粒径分布より等価密度を算出し、層厚を算出)

大山の降下火砕物の検討結果 基本ケース(2/2)



※アイソパックは降下火砕物堆積重量の分布図

上段: 発電所位置での降下火砕物堆積重量

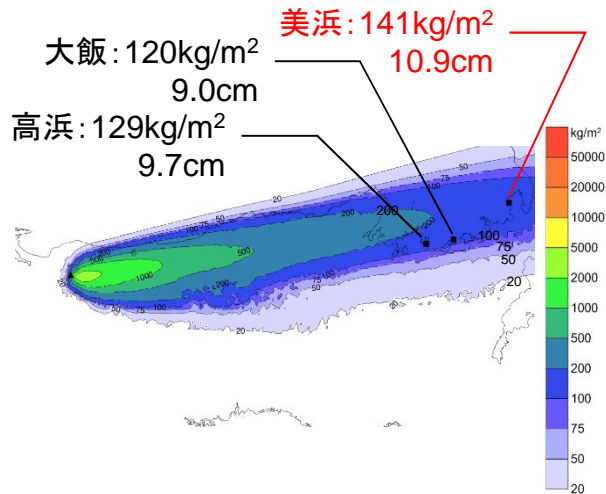
下段: 発電所位置での降下火砕物堆積層厚(堆積した粒径分布より等価密度を算出し、層厚を算出)

降下火砕物シミュレーション結果より、各発電所における降下火砕物層厚は以下のとおりであった。

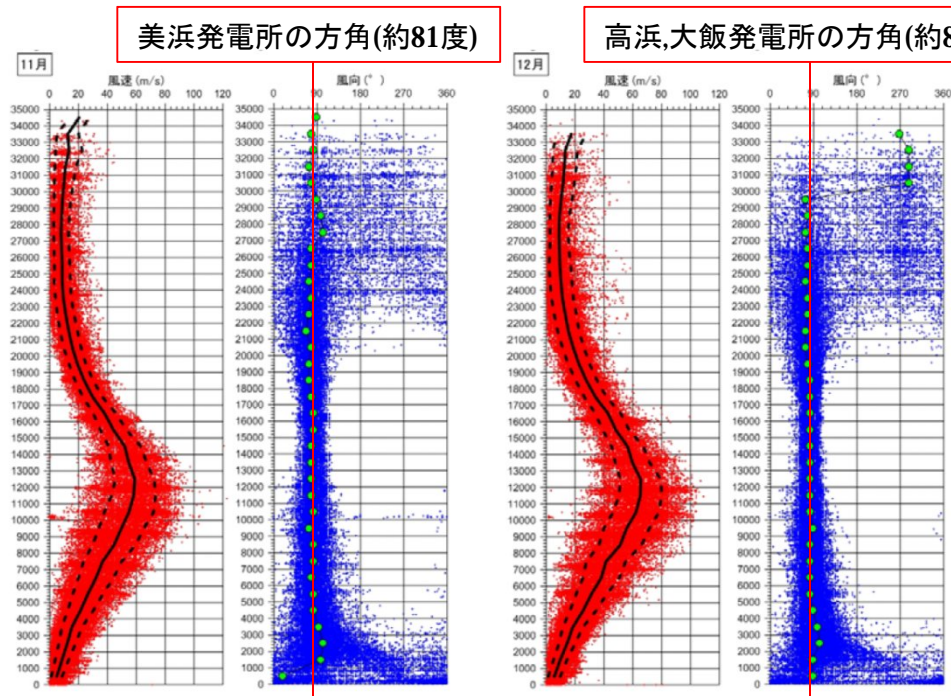
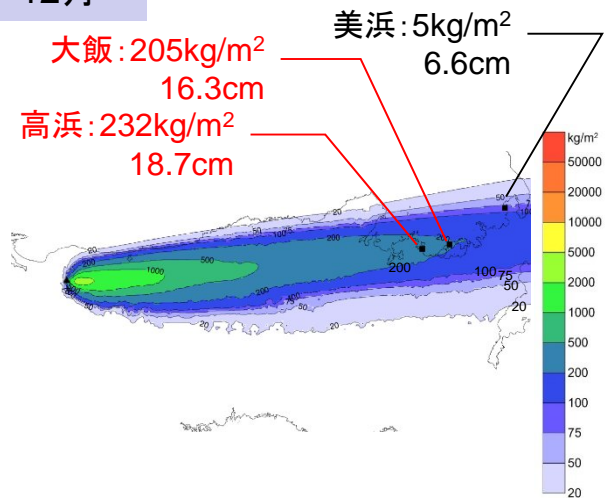
発電所	高浜	大飯	美浜
降灰層厚(基本ケース)	1.7~18.7cm	1.5~16.3cm	0.4~10.9cm

基本ケース(再掲)

11月



12月

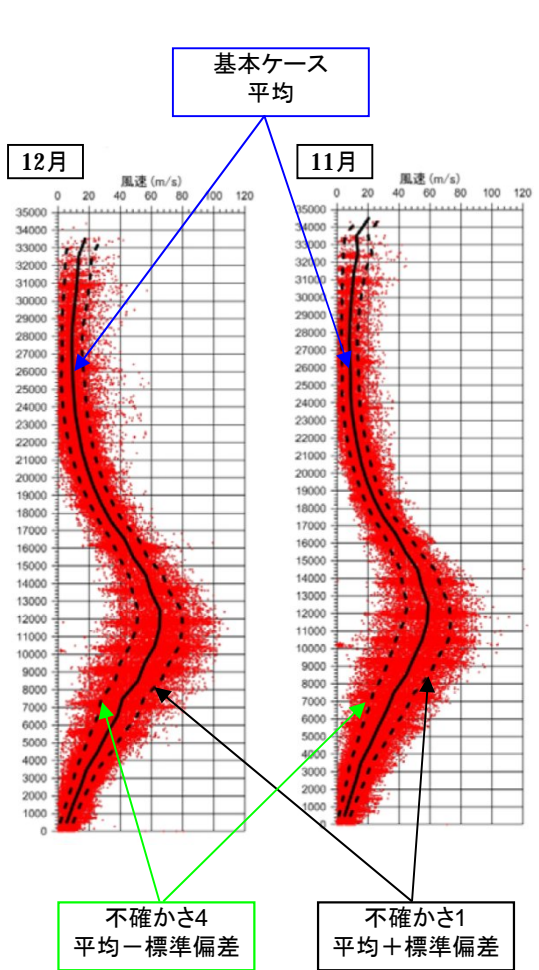


11月

● 風速データ
 ● 風向データ
 ● 風向の最頻値

12月

- ・大山から各発電所敷地の方角は、美浜発電所が約81度、高浜及び大飯発電所が約85度である。
- ・11月の風向の最頻値は、全高度において美浜発電所の方角に概ね一致し、12月の風向は同様に高浜及び大飯発電所の方角に概ね一致する。
- ・また、この時期は風速も大きい傾向にあることから、基本ケースにおいて美浜発電所は11月、高浜及び大飯発電所は12月が最大層厚となる。
- ・これ以降の不確かさの検討においては、これら11月、12月に対して行う。

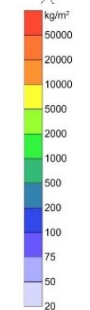
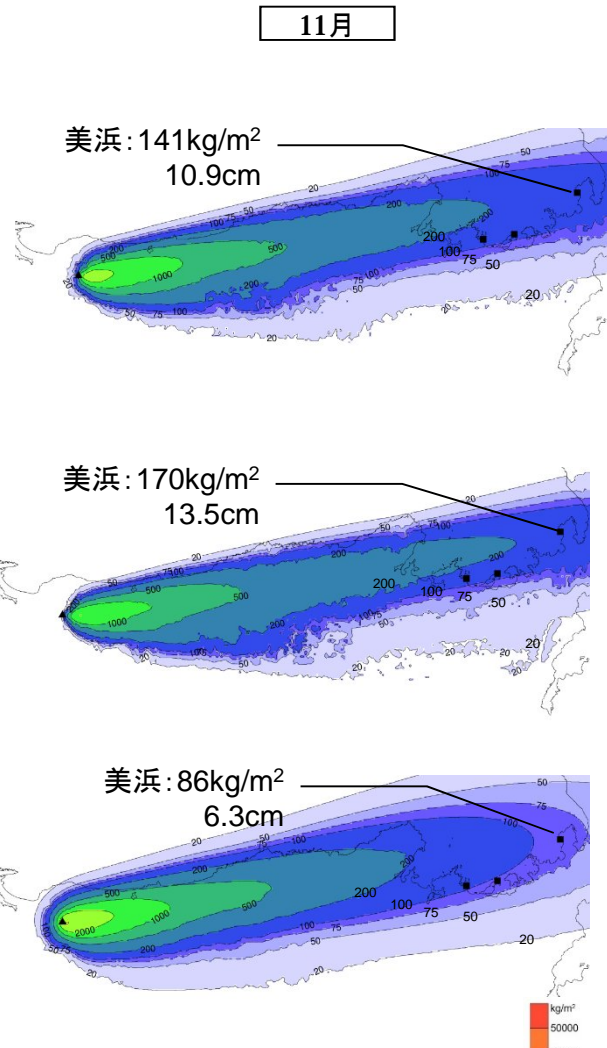
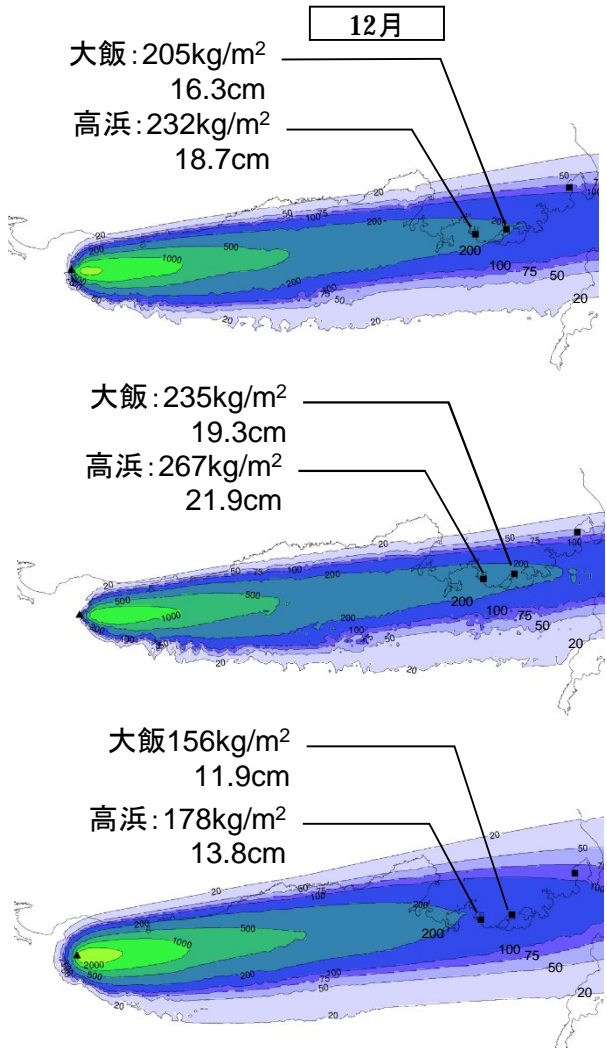


●米子(1981~2009年)の風速データ

基本ケース

不確かさ1

不確かさ4



- ・風速の不確かさの検討として、基本ケースの検討結果において降下火砕物層厚が最も大きかった月(高浜・大飯は12月、美浜は11月)を対象に、風速のばらつき(平均±標準偏差)を考慮した検討を実施した。
- ・風速の不確かさを考慮したシミュレーションの結果、降下火砕物層厚は以下のとおりであった。

発電所	高浜	大飯	美浜
降灰層厚(風速の不確かさ)	13.8~21.9cm	11.9~19.3cm	6.3~13.5cm

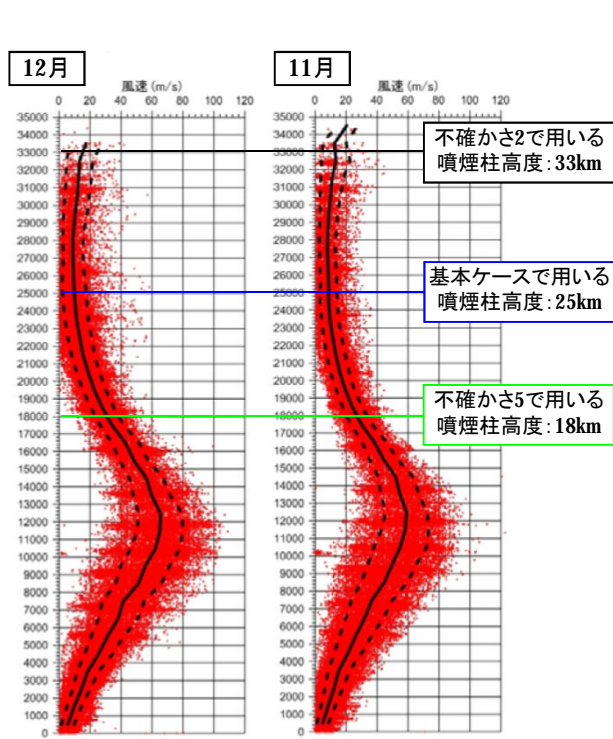
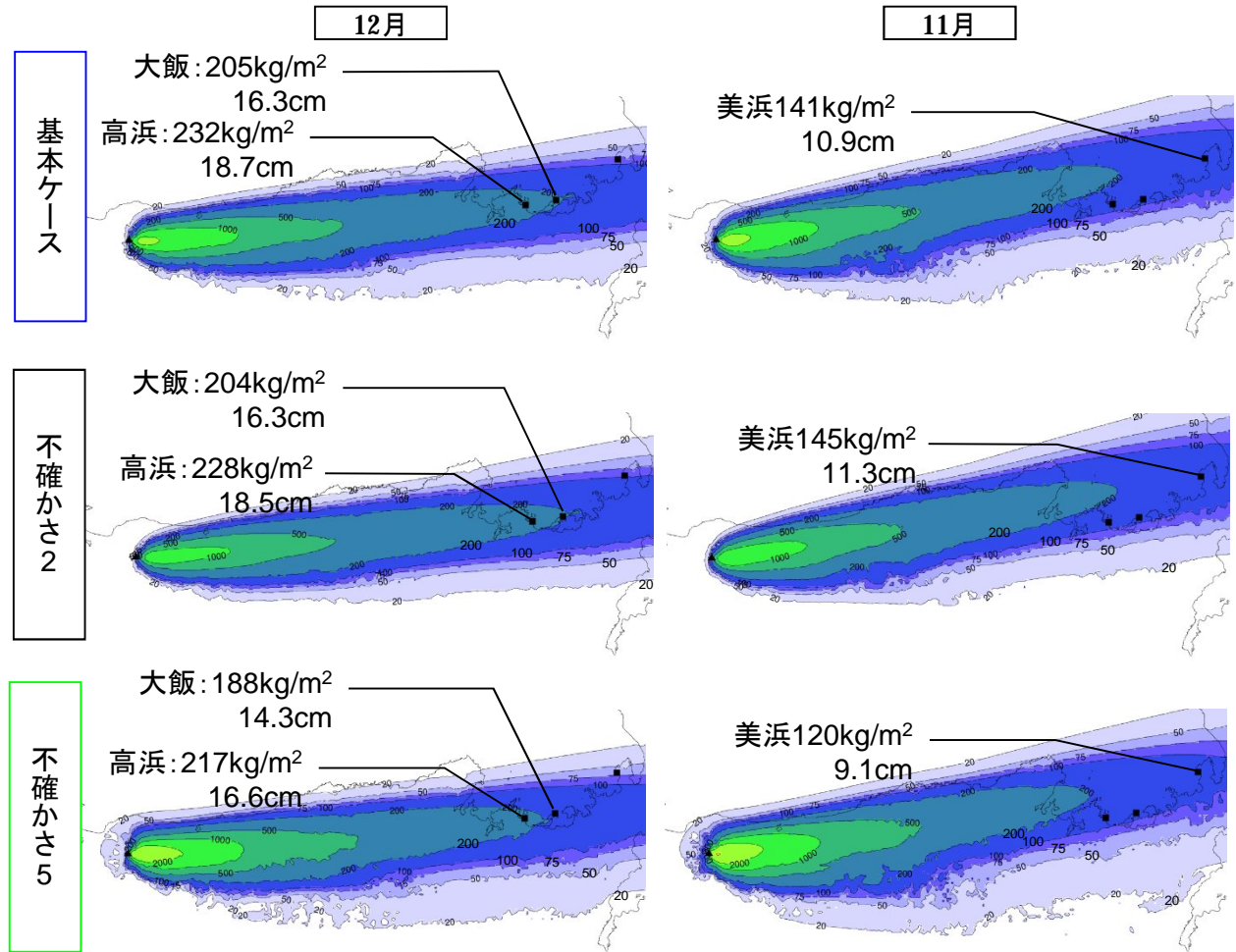


表1 観測された諸噴火の最盛期における噴煙柱の高度、噴出率と継続時間
 [Wilson et al. (1978), Cas & Wright (1987), 遠藤ほか (1986), 早川 (1991b), Pyle (2000) から編集]

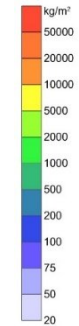
噴火年 (地域名)	噴煙柱高度 (km)	噴出率 (m³/s)	継続時間 (h)
Mt. St. Helens 1980 (アメリカ合衆国)	18	12,600	0.23

町田・新井(2011)

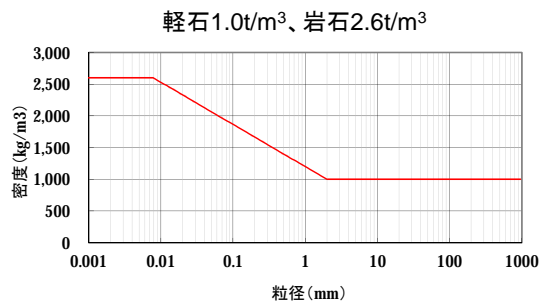


- ・噴煙柱高度の不確かさの検討として、基本ケースの検討結果において降下火砕物層厚が最も大きかった月(高浜・大飯は12月、美浜は11月)を対象に検討を実施した。
- ・噴煙柱高度の不確かさとして、気象観測データの精度限界の33kmを上限、VEI5のMt.St.Helens1980の噴煙柱高度の18kmを下限としてシミュレーションを実施した結果、降下火砕物層厚は以下のとおりであった。

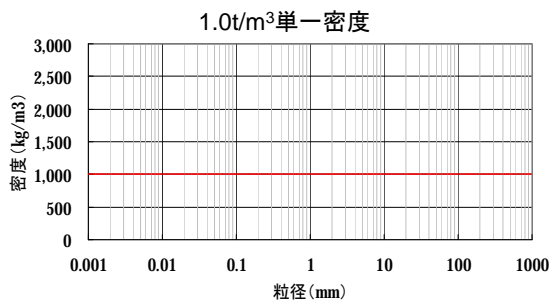
発電所	高浜	大飯	美浜
降灰層厚(噴煙柱高度の不確かさ)	16.6~18.5cm	14.3~16.3cm	9.1~11.3cm



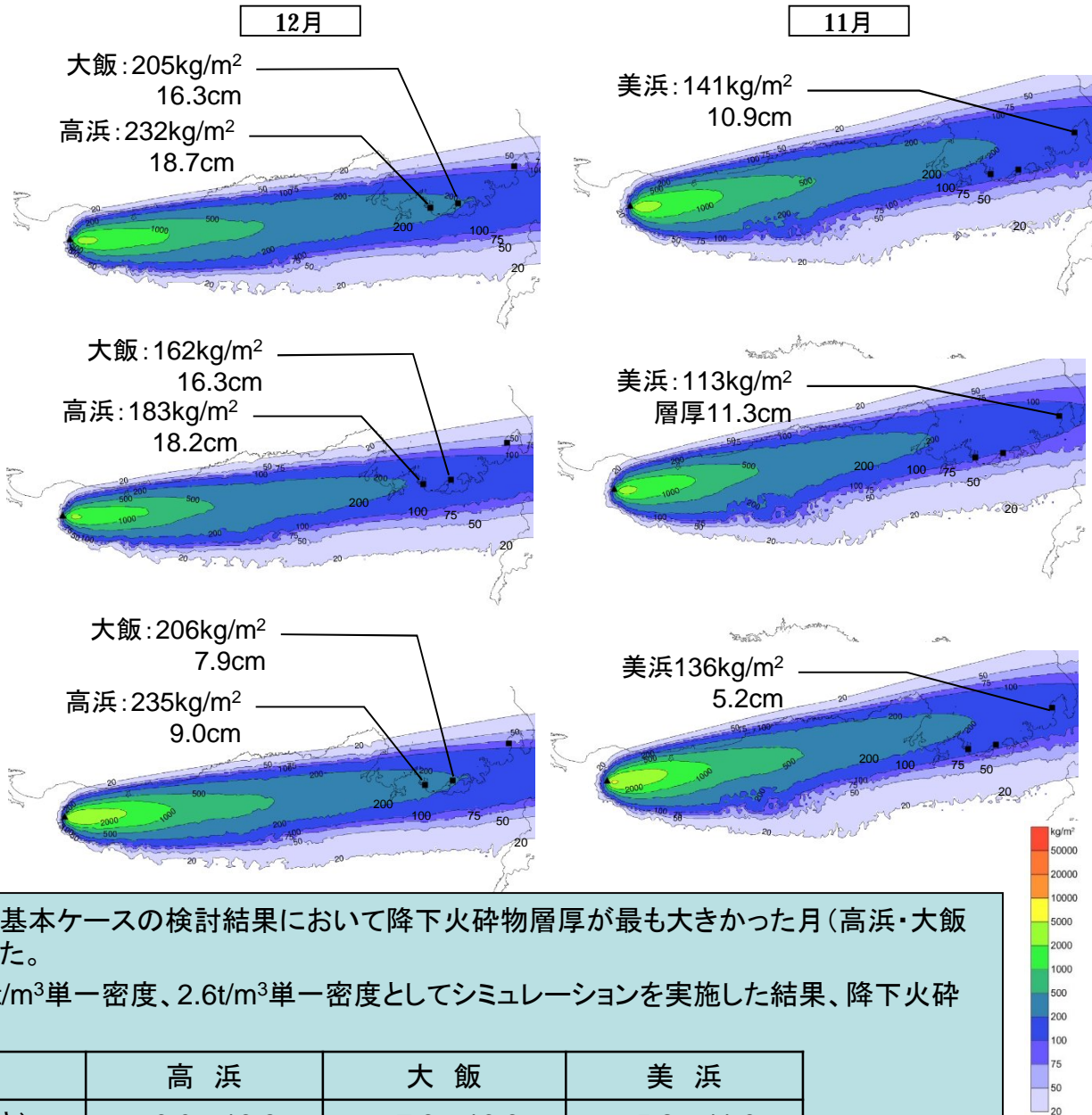
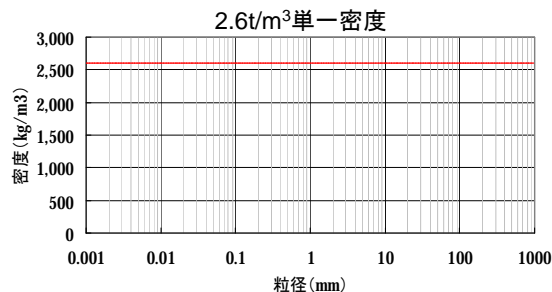
基本ケース



不確かさ3



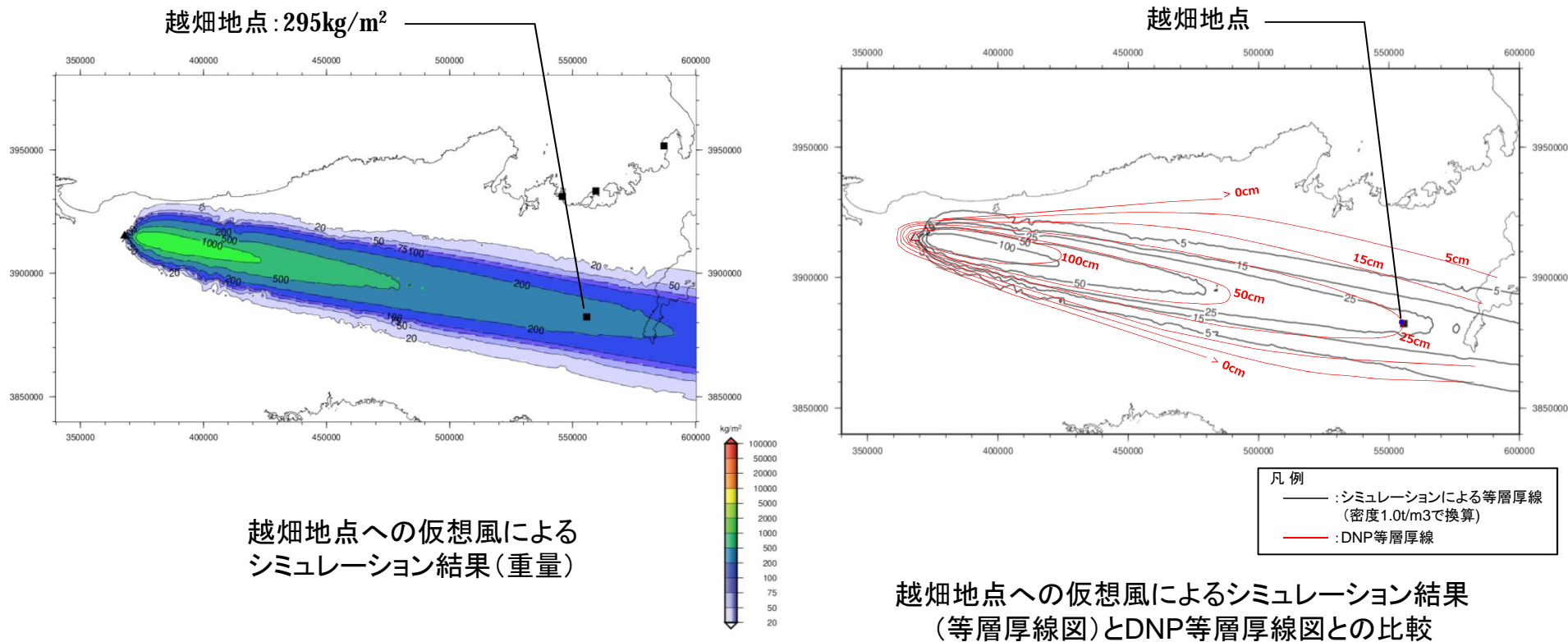
不確かさ6



- ・軽石及び岩石密度の不確かさの検討として、基本ケースの検討結果において降下火砕物層厚が最も大きかった月(高浜・大飯は12月、美浜は11月)を対象に検討を実施した。
- ・密度の不確かさとして、軽石・岩石密度を1.0t/m³単一密度、2.6t/m³単一密度としてシミュレーションを実施した結果、降下火砕物層厚は以下のとおりであった。

発電所	高浜	大飯	美浜
降灰層厚(密度の不確かさ)	9.0~18.2cm	7.9~16.3cm	5.2~11.3cm

- ・降下火砕物シミュレーションの妥当性を検証するため、風向を越畑地点に向けた仮想風でのシミュレーションを実施し、その等層厚線図とDNP等層厚線図との整合性を確認した。
- ・風向以外のパラメータは、P.38に示す不確かさケース1のパラメータとした。



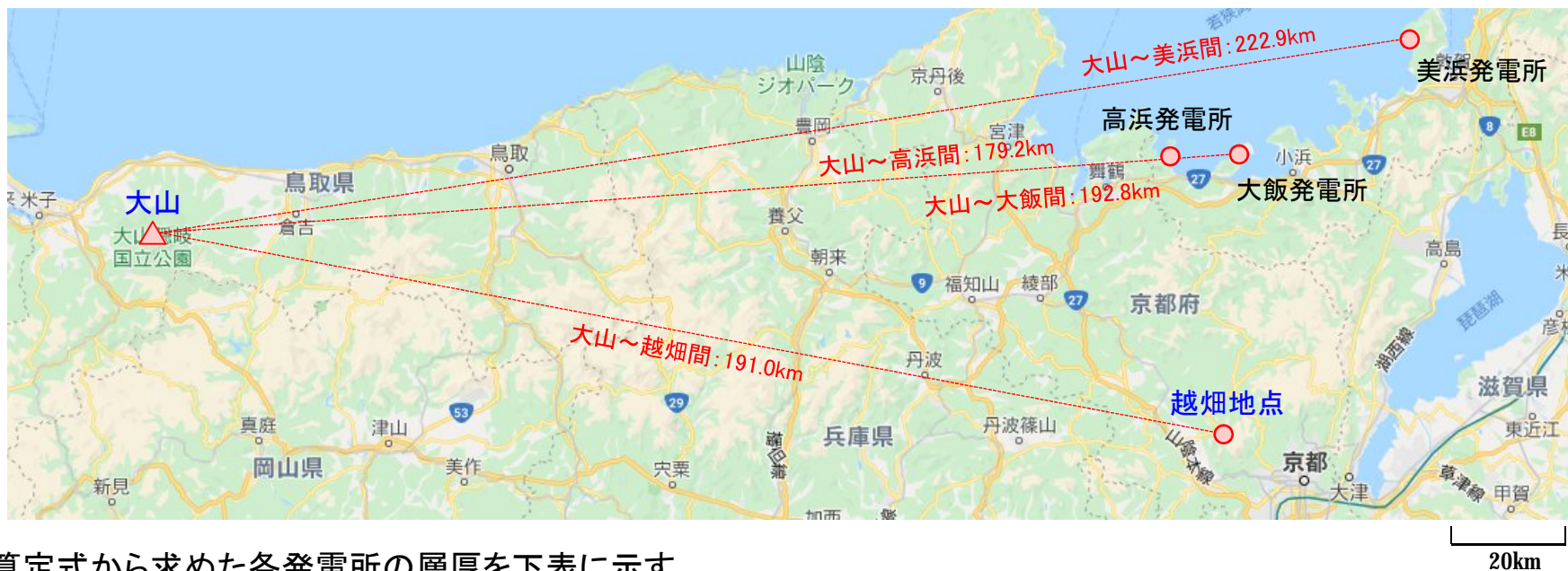
- ・越畑地点への仮想風によるシミュレーションの結果、等層厚線はDNP等層厚線と概ね整合的であり、越畑地点における25cmの降灰実績も再現できていることを確認した。
- ・以上のことから、DNPを対象とした降下火砕物シミュレーションは概ね妥当と評価する。

○降下火砕物シミュレーションコードTephra2を用いて発電所地点における降下火砕物層厚を検討した結果、以下のとおりであった。

発電所	高 浜	大 飯	美 浜
基本ケース	1.7～18.7cm	1.5～16.3cm	0.4～10.9cm
不確かさ1、4(風 速)	13.8～21.9cm	11.9～19.3cm	6.3～13.5cm
不確かさ2、5(噴煙柱高度)	16.6～18.5cm	14.3～16.3cm	9.1～11.3cm
不確かさ3、6(密 度)	9.0～18.2cm	7.9～16.3cm	5.2～11.3cm
全検討ケースにおける最大層厚	21.9cm	19.3cm	13.5cm

- 各発電所の降灰層厚については、原子力規制委員会(2018)に示される越畑地点の降灰層厚25cmをもとに、大山からの距離に応じて設定するものとし、その算定式は下のとおりとする。

各発電所の層厚 = (大山～越畑間距離 / 大山～発電所間距離) × 25cm



- 算定式から求めた各発電所の層厚を下表に示す。

発電所	高浜	大飯	美浜
大山からの距離(km)	179.2	192.8	222.9
算定式から求めた層厚(cm)	26.6	24.8	21.4

○上記を踏まえ各発電所の降灰層厚を次のとおり設定する。

発電所	高浜	大飯	美浜
降灰層厚	27.0cm	25.0cm	22.0cm

3.3.3 恵比須峠福田の活動性及び噴火規模に関する検討

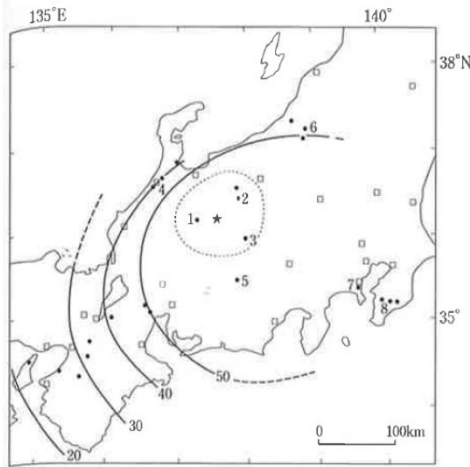


図4.2-6 恵比須峠福田テフラの分布 [吉川ほか(1994)に新しく認定された数地点を加えた]。
 地点1-8は表4.2-3参照。名古屋以西の地点は代表的なものを選んだ。等厚線は文献15)の図9よりステージ1と2を合わせた降下テフラの厚さ(cm)。点線の範囲は火砕流堆積物のおよその分布域。★印は噴出源の推定位置。

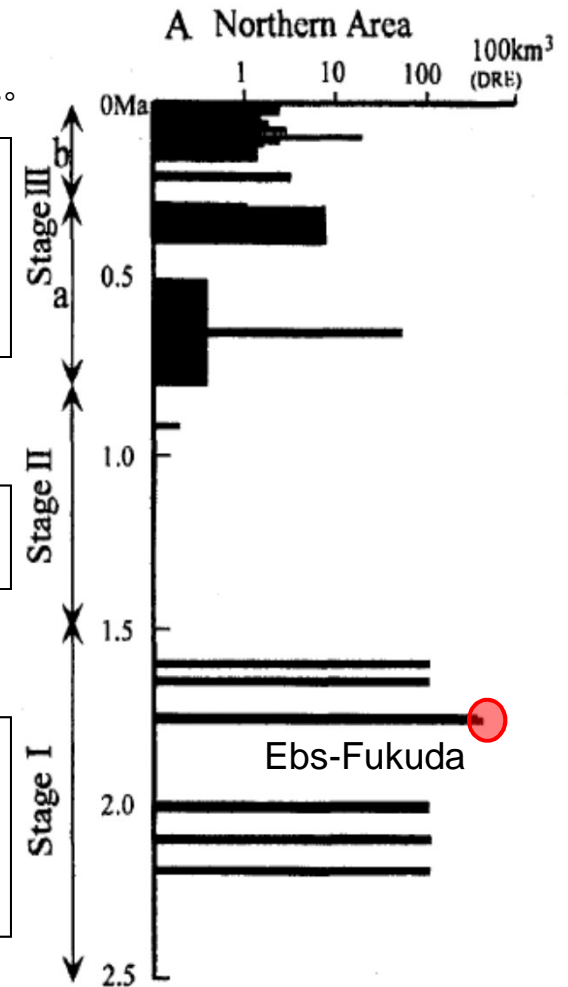
町田・新井(2011)

及川(2003)は飛騨山脈での火成活動を3つのステージに分けた。

○ stage III (0.8Ma~0Ma)は東西圧縮の地殻応力場での立山~御岳火山といった成層火山の形成で特徴づけられる時代である。この時代は、10 km³程度かそれ以下の規模の活動が卓越し、stage Iの活動に比べて噴出量が一桁以上小さい。

○ stage II (1.5Ma~0.8Ma)は火山活動が低調な時代である。

○ stage I (2.5Ma~1.5Ma)は伸張ないし中間的な地殻応力場の火山活動で、カルデラ形成を伴う大規模火砕流の噴出など。この内、噴出量が詳細に推定されているものとして、Ebs-Fukudaがある。噴出年代と噴出量については、1.75Ma、250km³~350km³と推定されている。



及川(2003)

・発電所運用期間に鮮新世~中期更新世以前に活動した恵比須峠福田のような規模の噴火の可能性は十分低く、降下火砕物が敷地に影響を及ぼす可能性は十分に小さいと評価する。

・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, p.141-p.156

3.4 噴出源が同定できない降下火砕物に関する検討

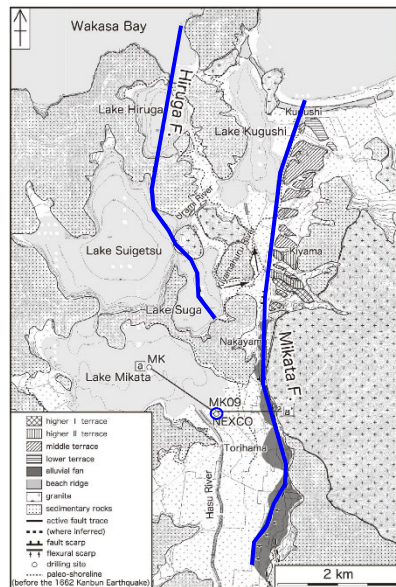
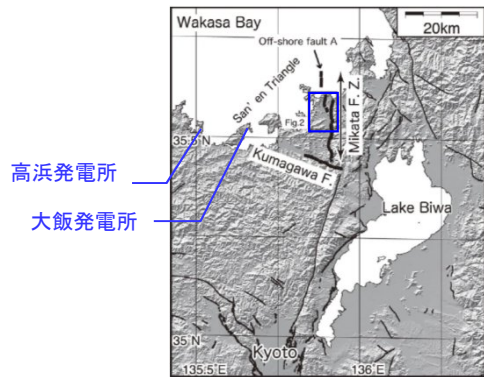


図2 三方五湖周辺の地質および地形区分。
地質図は中江ほか(2002)、湖岸線の分布は岡田(1984)を一部修正、日向断層は木野ほか(1999)および岡田・重藤(2000)に従った。MK09、NEXCOコア、およびMKコア(竹村ほか,1994)の位置を示す。a-a'は図6の地形断面線を示す。

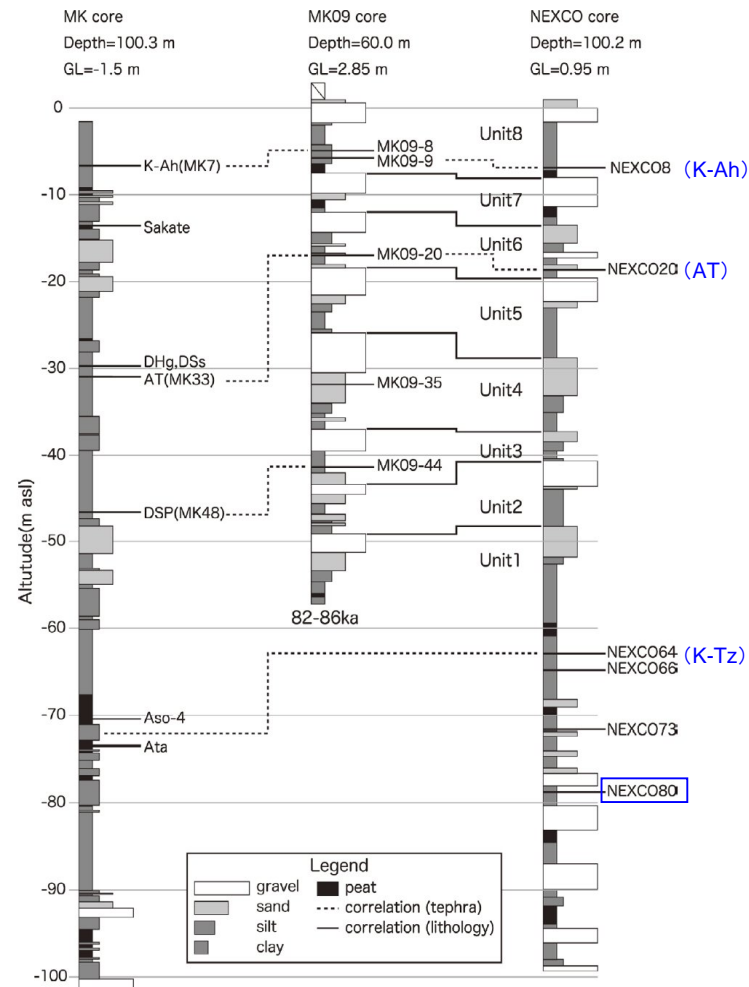


図5 三方湖東岸および湖心部における3本のコア試料の層相とテフラによる対比。

- ・文献調査を行った結果、降灰層厚が比較的厚く、噴出源が同定できない降下火砕物として、「NEXCO80」を抽出した。
- ・石村他(2010)では、三方湖及び三方湖東岸で得られたボーリングコア堆積物を用いて層相解析を行い、三方断層のイベント層準の認定を試みた研究成果を報告している。その中で主なテフラについての記載があり、NEXCO80が記載されている。

表3 コア中に認められたテフラとそれらと対比可能な近畿地方に分布する既知のテフラの岩石記載の特徴。

Table 3 Petrographic properties of tephra layers recognized in the MK09 and NEXCO cores, and those of the correlative tephra layers previously known in the Kinki Districts.

Core Name	Tephra Name (Correlative tephra)	Depth (m)	Grain composition (%)					Glass shards					Heavy minerals								
			Gl	Rf	Lm	Hm	Ot	Shape of glass shards (%)				Refractive index (mode)	Heavy mineral composition (%)						Refractive index (mode)		
								H	C	T	C		Opx	Cpx	Am	Opq	Bt	Ap	Zr	Opx (γ)	Ho (n_2)
MK09	MK09-8 (= K-Ah) (7cm)	7.81-7.74	92	2	3	1	2	76	18.5	5	0.5	1.510-1.512	12.5	6	6.5	17	47	11	0		
MK09	MK09-9 (= U-Oki) (5cm)	8.66-8.61	71	11.5	13.5	2.5	1.5	2.5	5	91.5	1	1.521-1.524 (1.522)	2.5	1.5	9	11	56.5	19.5	0		
MK09	MK09-20 (= AT) (11cm)	19.87-19.76	92	5.5	1.5	1	0	72	13	11	4	1.498-1.500 (1.500)	37	15	26.5	16	4	1.5	0		
MK09	MK09-35 (= SI) (2cm)	34.61-34.59	66.5	10	18	5.5	0	4.5	18.5	69	8	1.499-1.501 (1.501)	5.5	0.5	77	11	4.5	1	0.5		1.671-1.677 (1.672-1.674)
MK09	MK09-44 (= DSP)	44.10											11	0	40.5	17.5	30	1	0	1.700-1.705	1.680-1.685 (1.683)
NEXCO	NEXCO8 (= U-Oki) (3cm)	7.88-7.85	12.5	53	26.5	4.5	3.5	6.5	8	83.5	2	1.521-1.525 (1.522-1.523)	2	4	9	12.5	60.5	12	0		
NEXCO	NEXCO20 (= AT) (30cm)	19.50-19.20	83.5	11	3.5	1	1	46	27.5	21	5.5	1.498-1.501 (1.500)	28.5	8.5	26.5	16	19	1.5	0		
NEXCO	NEXCO64 (= K-Tz) (5cm)	63.96-63.91	95	0	4.5	0.5	0	63.5	26.5	8.5	1.5	1.498-1.500 (1.499-1.500)	54	10	7	7	21	1	0		
NEXCO	NEXCO66 (1cm)	65.81-65.80	73.5	14	9	2.5	1	0.5	3.5	87.5	8.5	1.497-1.498 (1.497)	8.5	10.5	33.5	21	23.5	1	2		
NEXCO	NEXCO73 (4cm)	72.60-72.56	36.5	45.5	14.5	3	0.5	2.5	8	55.5	34	1.498-1.500 (1.522-1.530)	26	12	16	27.5	11	7	0.5		
NEXCO	NEXCO80 Upper (79.60)	79.70-79.50	35	4	43.5	16.5	1	0.5	6.5	92	1	1.500-1.506 (1.504)	17	6	65	10.5	1	0.5	*		
NEXCO	NEXCO80 Lower (79.70)	79.70-79.50	15.5	2	51.5	31	0	0	6	92	2	1.502-1.508 (1.504)	17	5	70	8	*	0	*	1.702-1.708 (1.704-1.705)	1.671-1.684 (1.673, 1.676, 1.684)
MK	MK7 (= K-Ah) (3cm)	5.10-5.07	98	0	3	1	0	75	5	20	0	1.511-1.517 (1.511-1.512)	25	32.5	0	35	0	7.5	0		
MK	MK33 (= AT) (7cm)	29.40-29.33	95	0	4	*	1	43	26.5	30.5	0	1.498-1.500 (1.499)	+		+	*	*				
MK	MK48 (= DSP)	44.80	3.5	0	67	13	16.5	2	3	90	5	1.508-1.514 (10 shards)	28	0	61	10.5	0.5	0	0		
BT	BT3 (= K-Ah) (3cm)	2.23-2.20	99	*	1	*	-	71	24	5	0	1.511-1.515 (1.511-1.513)	37	24	*	35	0	4	0	1.7095-1.7124 (1.711)	
BT	BT4 (= U-Oki) (3cm)	2.65-2.62	82	2	16	*	-	*	20	80	0	1.522-1.525	*	7	18	13	52	10	0		1.7301-1.7493 (1.734)
BT	BT10 (= AT) (10cm)	8.62-8.52	95	0	2	*	-	63	34	3	0	1.499-1.501	44	11	10	32	0	3	0	1.7082-1.7352 (1.710, 1.732)	1.6652-1.6795 (1.670-1.671)
BT	BT15 (= SI)	14.69	55	2	29	14	-	1	11	88	*	1.499-1.504 (1.499-1.502)	*	0	66	9	23	2	0		1.6692-1.6815 (1.675-1.678)
BT	BT25 (= K-Tz)	30.88	97	0	3	*	-	57	37	5	1	1.498-1.501	40	34	2	21	*	3	0	1.7037-1.7080 (1.706-1.707)	

(再堆積を含む20cm)

粒子組成：火山ガラス (Gl), 岩片 (Rf), 軽鉱物 (Lm), 重鉱物 (Hm), その他 (Ot), 火山ガラスの形態：扁平 (H) 型, 中間 (C) 型, 多孔 (T) 型, その他 (O). 重鉱物組成：斜方輝石 (Opx), 単斜輝石 (Cpx), 角閃石 (Am), 不透明 (磁性) 鉱物 (Opq), 黒雲母 (Bt), 燐灰石 (Ap), ジルコン (Zr). Grain composition, Gl: volcanic glass, Rf: rock fragments, Lm: light minerals, Hm: heavy minerals, Ot: other grains. Glass shard morphology are classified into H-, C-, T-types and other type (O). Heavy minerals, Opx: orthopyroxene, Cpx: clinopyroxene, Am: amphibole, Opq: opaque minerals, Bt: biotite, Ap: apatite, Zr: zircon. Core name, MK09: Mikata 09 60-m core, NEXCO: NEXCO 100-m core, MK: Mikata 100-m core (Takemura *et al.*, 1994), BT: Takashima-Oki core in Lake Biwa (Yoshikawa and Inouchi 1991). Tephra name of the MK09 and NEXCO cores are shown as the core name + intercalating depth (m). Those of the BT core are after Yoshikawa and Inouchi (1991). As for the BT core tephra layers, grain composition, shape of glass shards, and heavy mineral composition are from Yoshikawa and Inouchi (1991), and refractive index of glass shards and orthopyroxene and hornblende crystals are from Satoguchi *et al.* (2008). + common, * < 1%.

石村他(2010)に追記

- ・NEXCOコアの柱状図では、深度79.5m~79.7m間は、シルト主体で、部分的に白色を呈するとされており、テフラの記載はない。
- ・NEXCO80は、UpperとLowerの2つのユニットに区別されており、UpperはLowerと比較すると、Upperは重鉱物が少なく、岩片やその他混入物も含むなどの特徴から、NEXCO80は再堆積を含んでいると考えられる。

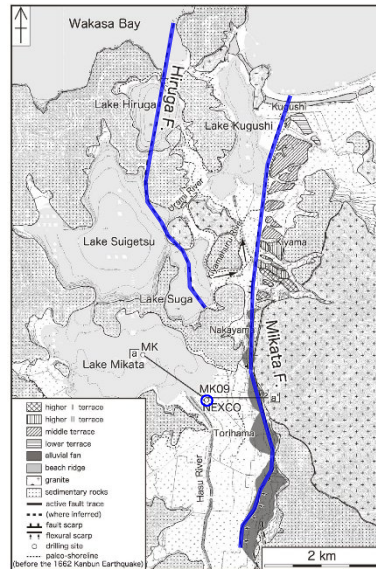


図2 三方湖周辺の地質および地形図。地質図は中江ほか(2002)、湖岸線分布は岡田(1984)を一部修正、自然断層は米野ほか(1989)および野田・高橋(2009)に従った。MK09、NEXCOコア、およびMKコア(竹村ほか,1994)の位置を示す。a-a'は図6の地形断面線を示す。

1) コア試料

本研究で用いたボーリングコアは、MK09コア、NEXCOコアの2本であり、その掘削地点を図2に示す。MK09コアの深度は60m、MK09コア掘削地点の約50m南東で中日本高速道路株式会社により掘削されたNEXCOコアの深度は100.2mである。これらの掘削地点は寛文地震以前には三方湖湖底であり、寛文地震後の浦見川(図2)の開削後に陸化した場所である(岡田, 1984)。また、竹村ほか(1994)により深度100.3mまで掘削され、層相の記載およびテフラ分析が行われているMKコア(図2)から、三方湖湖心部の層相とテフラについての参照情報を得た。

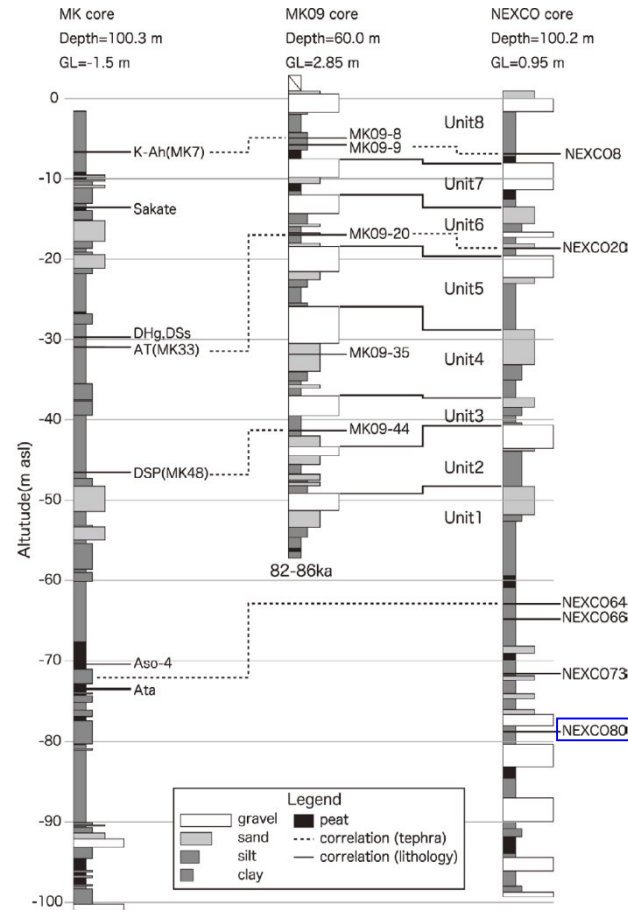


図5 三方湖東岸および湖心部における3本のコア試料の層相とテフラによる対比。

石村他(2010)

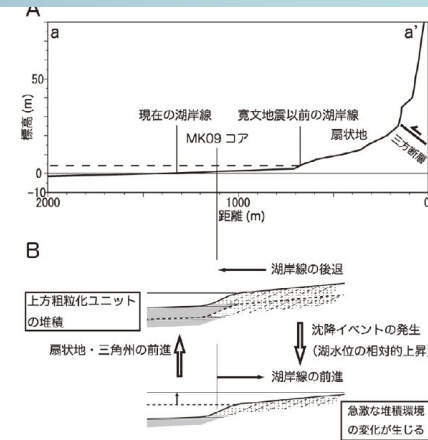


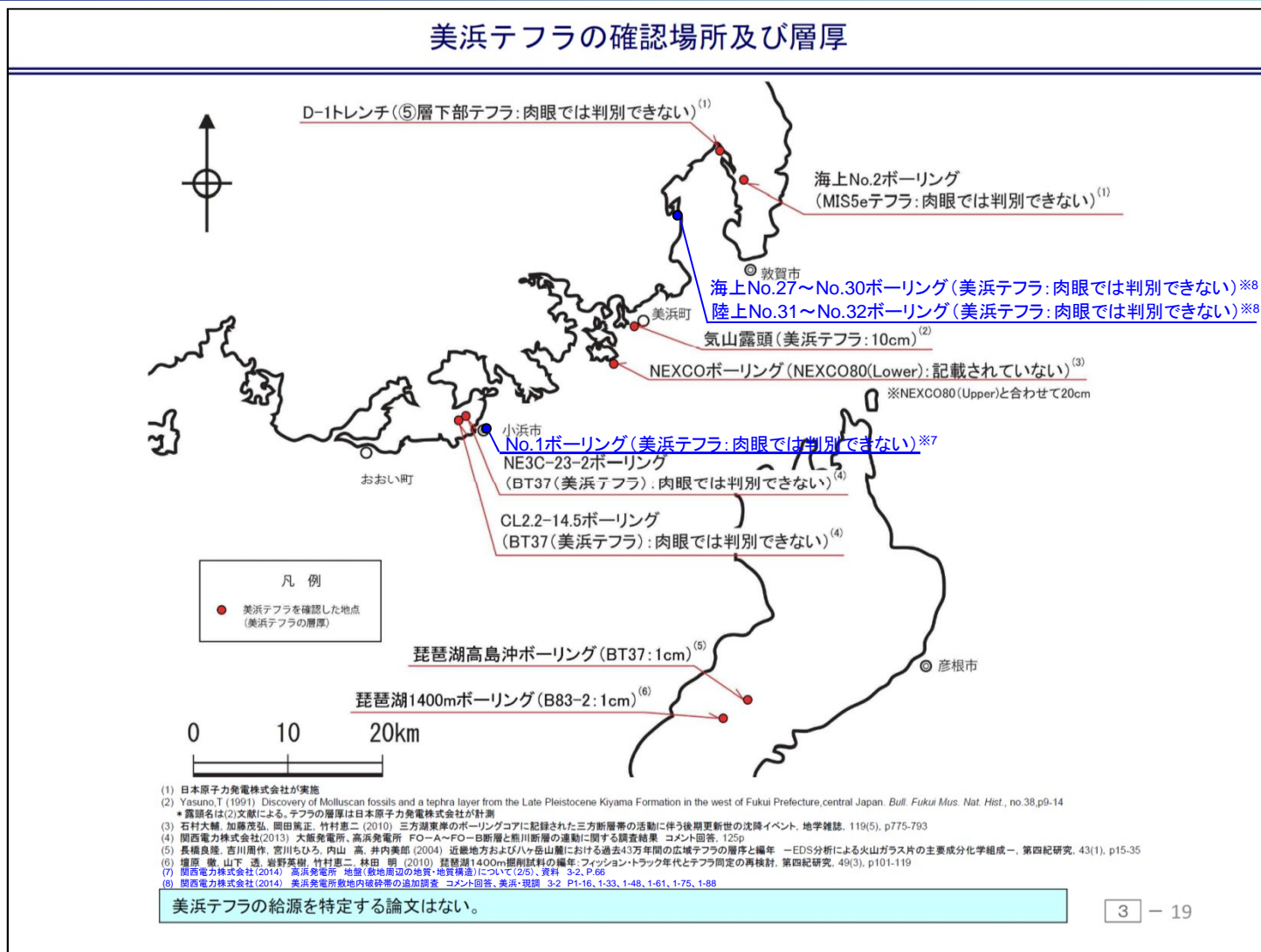
図6 沈降イベントによる堆積環境変化の模式図。A: 地形断面図(測線は図2に示す)。B: 沈降イベントによる堆積環境の変化。

本研究では、三方断層の低下側に位置する三方湖東岸において掘削された2本のコア(MK09コア・NEXCOコア)の分析を行い、以下の点を明らかにした。

1. MK09コアでは、層厚5~10mの上方粗粒化ユニットが8つ確認され、そのユニット境界は明瞭である。各ユニットは類似するサブユニットから構成され、同様の堆積サイクルが繰り返してきたことを示している。
2. 近接するNEXCOコアとの対比から、この上方粗粒化ユニットは比較的広域で確認できる。
3. 各サブユニットの層相・堆積構造から推定される堆積環境の変化から、各ユニットは、急激な湖水位の相対的上昇と湖岸線の前進、その後の湖域の埋積と扇状地の前進という過程で堆積したと推定され、その要因として三方断層帯の活動に伴う沈降イベントが考えられた。

・石村他(2010)より、NEXCOコア及びMK09コアの調査位置は、三方断層帯の活動に伴うイベントにより、急激な湖水位の相対的上昇と湖岸線の前進、その後の湖域の埋積と扇状地の前進という過程で堆積したと推定されており、降下火砕物層厚を評価するには堆積環境が複雑であると考えられる。

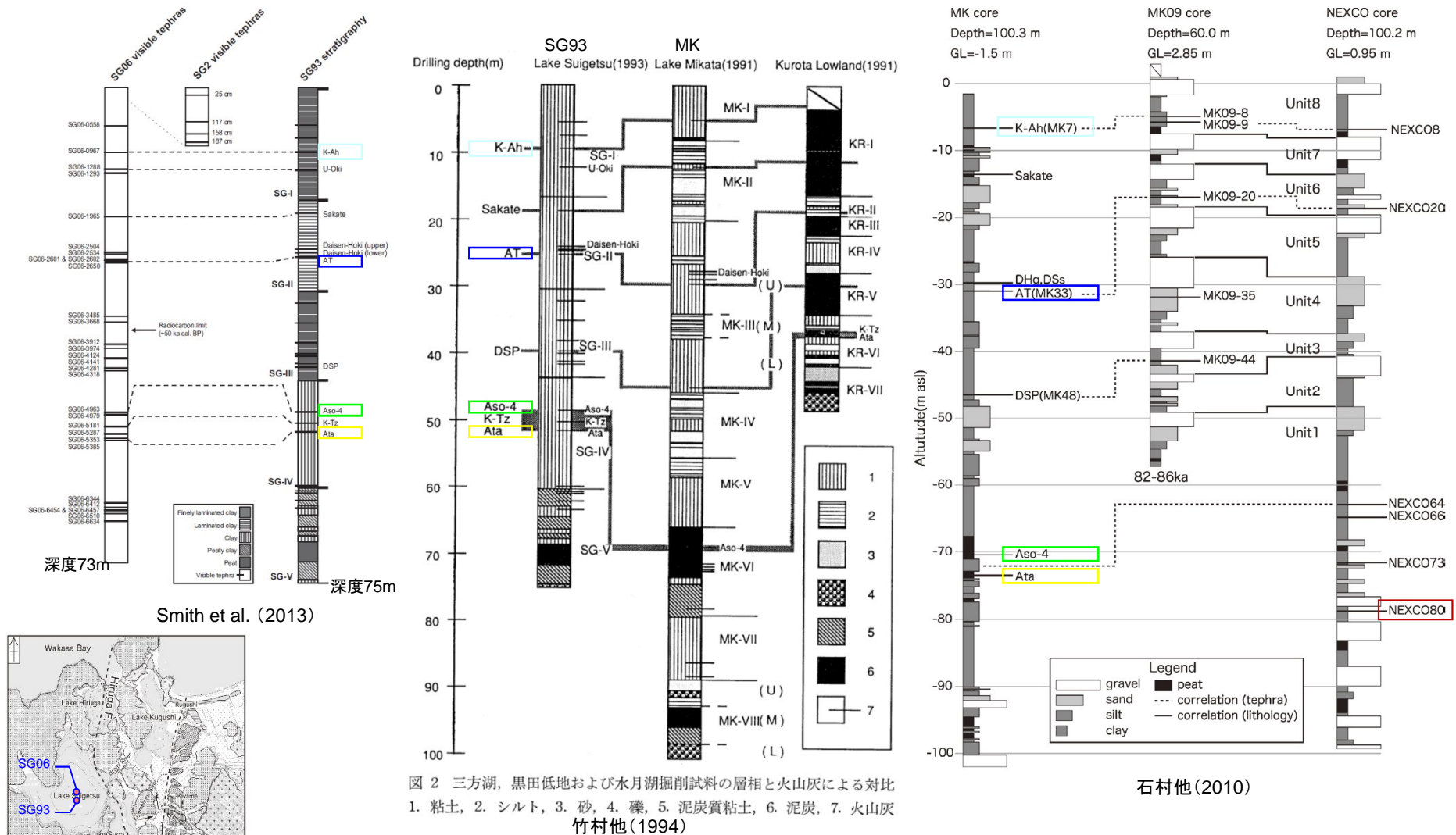
・NEXCO80の層厚については、NEXCOコアだけで評価するのではなく、周辺調査での出現について確認を行う。



日本原子力発電株式会社(2014)に加筆(青字)

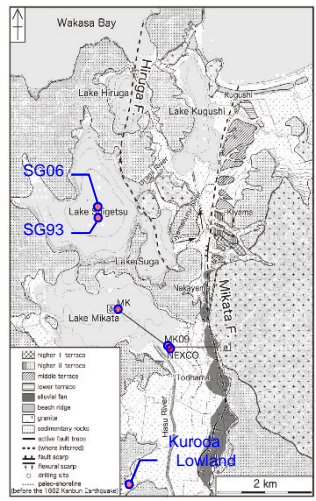
・日本原子力発電株式会社(2014)より、NEXCO80と対比される美浜テフラの分布状況が示されており、NEXCOボーリング以外では気山露頭で最大層厚10cmが確認されているが、その他の地点でも複数確認されるがいずれも1cm以下もしくは肉眼では判別できないものである。

日本原子力発電株式会社(2014): 原子力規制委員会有識者会合による敦賀発電所敷地内破砕帯現地調査について(資料), 2014年1月24日



・NEXCOコアで確認されたNEXCO80はNEXCO64(K-Tz)より約15m下位に位置する。
 ・一方、MKコア、SG93、SG06コアではK-Tzとほぼ同じ降灰時期であるAtaが確認されており、それ以深にも20m以上掘進され、火山灰が確認されているが、NEXCO80との対比はされていない。

・Victoria C. Smith et al.(2013): Identification and correlation of visible tephra in the Lake Suigetsu SG06 sedimentary archive, Japan: chronostratigraphic markers for synchronising of east Asian/west Pacific palaeoclimatic records across the last 150 ka, Quaternary Science Reviews 67, p.121-p.137
 ・竹村恵二・北川浩之・林田明・安田喜憲(1994): 三方湖・水月湖・黒田低地の堆積物の層相と年代, 地学雑誌, 103, p.232-p.242
 ・石村大輔・加藤茂弘・岡田篤正・竹村恵二(2010)三方湖東岸のボーリングコアに記録された三方断層帯の活動に伴う後期更新世の沈降イベント, 地学雑誌, 119, p.775-p.793



NEXCO80の可能性のある降下火砕物に関する検討 (水月湖)

平成29年1月27日
第436回 大飯発電所3, 4号炉 火山影響評価に係る審査会合
資料1-1 再掲

Table 2
Visible tephra layers within SG06.

Sample (SG06-)	Bore hole layers				Composite depth of the base (cm)	Thickness (cm)	Description	Glass compositions (wt.%)			Correlation based on glass chemistry	¹⁴ C date ^a (cal. yrs BP)
	A	B	C	D				SiO ₂	K ₂ O	CaO		
588	A-03-14	B-03-03a	—	D-03-05	587.9	0.2	Fine grey ash	74.40–77.97	2.25–3.99	1.45–2.37	Kikai-Akahoya (K-Ah)	3966–4064
967	A-06-01	B-05-04	C-07-γ	—	964.5	2.8	Fine-medium white ash	72.60–74.60	2.77–3.03	1.82–2.34		7165–7303
1288	A-07-16	B-07-01	—	—	1286.1	1.9	Normal-graded, medium, white to fine grey ash	60.49–62.00	6.57–7.48	1.42–2.03	Ulleungdo-U4 (U-Oki)	10,177–10,255
1293	A-07-17	—	—	—	1292.8	0.3	Fine grey ash	77.35–78.20	3.17–3.37	1.08–1.18	Aira Tephra Formation (AT)	10,241–10,326
1965	A-11-00	B-10-02	—	—	1963.8	0.7	Fine-medium white ash	76.11–77.43	2.41–3.67	1.35–1.83		19,487 ± 112
2504	A-13-07	B-12–150.8 cm	—	—	2503.4	0.1	Discontinuous layer of fine white-grey ash	75.67–77.61	3.25–3.63	1.09–1.43	30,009 ± 194	
2534	A-13-08	B-13-02	—	—	2533.8	0.6	Fine brown-white ash	75.52–76.77	3.04–3.87	1.07–1.56	28,848 ± 196	
2601	—	B-13-06a	—	—	2600.4	0.2	Medium brown-white ash	72.67–77.91	2.75–4.68	0.62–2.36	29,765 ± 190	
2602	—	B-13-06b	—	—	2601.1	0.4	Medium brown-white ash	74.14–76.58	2.96–4.16	0.89–1.59	29,775 ± 191	
2650	A-14-01	B-13-Bottom	—	—	2615.2	35.1	Medium brown ash, slightly normally graded	77.02–78.41	3.24–3.55	1.03–1.20	30,009 ± 189	
3485	—	B-18-03	—	—	3484.9	0.5	Fine, dark black ash	53.11–55.43	0.33–0.67	8.50–10.06	43,713 ± 156	
3668	A-19-04	B-19-03	—	—	3667.8	0.3	White ash, slightly coarser in the middle	76.85–78.39	3.11–3.49	1.00–1.40	46,364 ± 202	
3912	—	B-20-α	—	—	3911.7	0.1	Medium brown–white ash	69.64–73.63	4.46–4.90	1.06–2.33	49,974 ± 337	
3974	—	B-20-07	—	—	3973.8	0.0	Fine-medium, very white ash	75.72–78.29	2.84–4.42	0.73–1.57	50,929 ± 378	
4124	—	B-21-03	C-17-06	—	4123.8	0.2	Fine-medium white ash	76.33–77.77	3.95–4.59	0.49–0.64	~87 ka Aso-4 ~87 ka Aso-4 ~95 ka Kikai-Tozurahara (K-Tz) Aso-ABCD	
4141	—	B-21-04	—	—	4139.9	1.3	Fine dark ash at the base that grades into dark brown ash with white ash bands	76.87–78.35	3.77–4.20	0.92–1.36		
4281	—	B-22-01	C-18-04	—	4280.6	0.3	Medium dark ash	73.27–76.69	2.67–2.97	1.30–2.04	~100 ka Ata	
4318	A-23-01	B-22-03	—	—	4316.9	1.5	Alternating layers of coarse dark grey, and white fine ash	45.10–52.18 68.87–71.67	0.33–0.77 2.15–2.51	9.39–11.73 2.27–3.24		
4963	A-28-01	B-28-01	C-19-03	—	4959.1	3.5	Medium brown ash	70.06–72.38	4.17–4.82	0.97–1.57	~87 ka Aso-4 ~87 ka Aso-4 ~95 ka Kikai-Tozurahara (K-Tz) Aso-ABCD	
4979	A-28–31.3 cm	B-28–35.5 cm	C-19-04	—	4978.3	0.2	Medium brown ash	70.46–72.26	4.04–4.71	0.91–1.56		
5181	A-29–01	B-29-04	—	—	5178.1	2.4	Fine-medium brown ash	77.76–78.50	3.14–3.40	1.00–1.15	~100 ka Ata	
5287	—	—	C-21-01	—	5282.9	4.0	Massive, fine-medium brown ash	69.16–69.88	4.43–4.76	1.69–1.92	~100 ka Ata	
5353	A-30-02	B-30-02	—	—	5351.1	1.5	Fine-medium brown ash	73.69–74.61	2.80–2.98	1.72–1.98		
5385	A-30-03	B-30–93.2 cm	—	—	5383.9	1.4	Diffuse pods (<0.3 cm thick) of fine, light grey ash	66.54–68.48 73.27–73.72	0.69–0.81 5.25–5.41	3.94–5.05 0.69–0.78		
6344	A-37-01	B-37-02	—	—	6342.9	0.8	Fine grey ash	70.12–73.77	0.96–1.13	2.69–3.73	NEXCO80出現想定範囲	
6412	A-37-07	B-38-03	—	—	6412.0	0.4	Fine white ash that is slightly darker and coarser in the middle	69.93–73.27	1.87–2.25	2.33–3.39		
6454	A-38-24.1 cm	B-38–77.6 cm	—	—	6454.0	0.1	Fine grey ash	74.61–77.27	2.62–4.32	1.43–1.99	NEXCO80出現想定範囲	
6457	A-38-α	B-38-07	—	—	6456.9	0.1	Fine white ash	76.55–77.14	3.02–5.44	0.69–1.38		
6510	A-38-β	B-39–39.4 cm	—	—	6510.3	0.1	Fine grey ash	65.55–66.92	1.42–1.70	4.61–5.07	NEXCO80出現想定範囲	
6634	A-40-02	B-40-04 a	—	—	6633.9	0.1	Fine white ash	74.01–77.55	2.04–2.67	1.44–2.48		

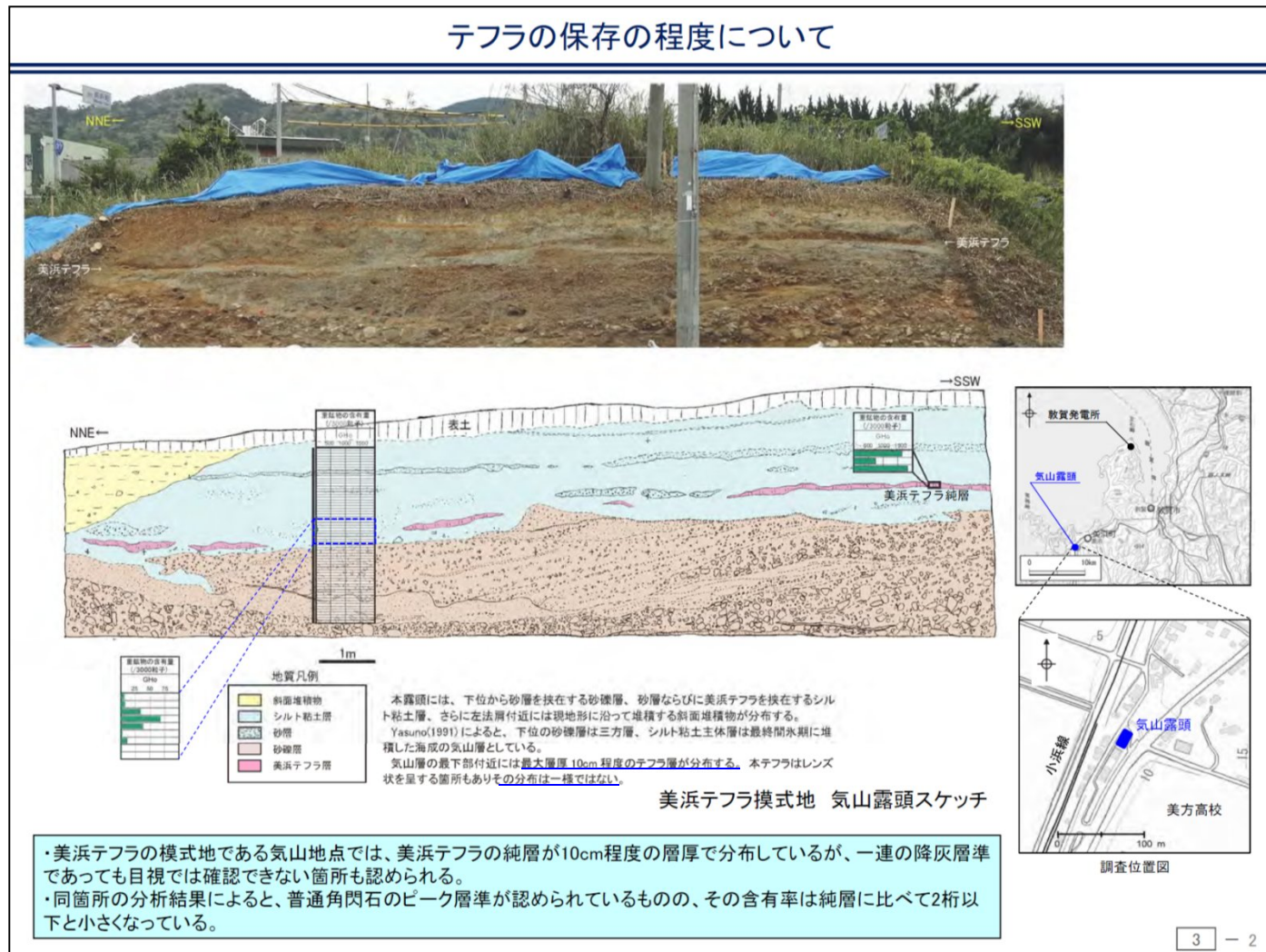
The sections marked in bold are the ones that were sampled. Composite depth is based on August 2009 correlation version. Normalised mean glass compositions are provided (see Table 3, and the Supplementary Material for all the raw data).

^a ¹⁴C age estimates are provided at the 95.4% hpd range for the uppermost units (down to SG06-1293) and the others are provided at 2σ level, see Staff et al. (2011) and Bronk Ramsey et al. (2012) for data and methods.

Smith et al. (2013)に追記

V.C. Smith et al. / Quaternary Science Reviews 67 (2013) 121–137

- SG06では30の火山灰が得られており、対比された中で最も古い火山灰はAta (約10万年以前に堆積)は深度約53mで確認されている。
- Ataの下位にも8の火山灰が得られており、約10万年前～約15万年前に降灰した火山灰が堆積したものと考えられる。
- NEXCO80は、BT37と対比されることから、降灰年代は約12.7万年前になり、この範囲内にNEXCO80が降灰した可能性も考えられるが、いずれの火山灰も2cm以下である。



日本原子力発電株式会社(2014)

・日本原子力発電株式会社(2014)より、NEXCO80と対比される美浜テフラが気山露頭で確認されており、「気山層の最下部付近には最大層厚10cm程度のテフラ層が分布する。その分布は一様ではない。」とされている。

日本原子力発電株式会社(2014): 敦賀発電所敷地内破砕帯の調査に関する有識者会合 第2回追加調査評価会合(当社資料), 2014年6月21日

【NEXCO80の特徴】

- ・NEXCO80を含むNEXCOコアは、再堆積を含むと考えられること、地殻変動を受け堆積環境が静穏でないことから、周辺の調査結果と合わせて総合的に評価する必要がある。

【NEXCO80の可能性のある降下火砕物に関する検討】

- ・周辺調査での出現について確認を行った結果、NEXCOボーリング以外では気山露頭で最大層厚10cm程度が確認されている。また、その他の地点でも複数確認されるがいずれも1cm以下もしくは肉眼では判別できないものである。
- ・また三方湖に隣接している水月湖で実施されたSG06は保存状態がよく、また詳細に火山灰層厚の分析もされており、降下火砕物の評価に適していると考えられる。
- ・NEXCO80はBT37と対比されることから降灰年代は約12.7万年前と考えられるため、SG06コアのAta出現からコア底までの範囲内にNEXCO80が降灰した可能性も考えられるが、当該範囲の火山灰はいずれも2cm以下である。



【NEXCO80の降灰層厚】

- ・NEXCO80については、三方五湖東岸においては層厚20cmであったが再堆積を含んでいること、またその他周辺調査を行った結果、層厚10cmを超えるものはなかったことからNEXCO80の降灰層厚は10cm以下と評価する。

3.5 降下火砕物の層厚に関するまとめ

赤字:既許可からの変更点

【降下火砕物の抽出】

- ・「原子力発電所に影響を及ぼし得る7火山」及び地理的領域外の火山について、文献調査、地質調査結果より、敷地及びその周辺に比較的層厚が厚い降下火砕物を抽出した結果、噴出源が同定できる降下火砕物として、「始良Tnテフラ」・「大山倉吉テフラ」・「恵比須峠福田テフラ」を抽出した。
- ・噴出源が同定できない降下火砕物として、「NEXCO80」を抽出した。

【噴出源が同定できる降下火砕物に関する検討結果】

- ・始良カルデラについては、噴火履歴及び地下構造を検討した結果、現在のマグマ溜まりは破局的噴火までには十分な時間的余裕があると考えられ、発電所運用期間に始良Tnテフラ規模の噴火の可能性は十分低いと考えられる。よって、今後も現在の噴火ステージが継続するものと考えられる。運用期間中の噴火規模としては、後カルデラ火山噴火ステージである桜島での既往最大規模(桜島薩摩テフラ)程度の噴火を考慮した結果、降下火砕物が敷地に影響を及ぼす可能性は十分に小さいと評価する。
- ・大山については、火山発達史、噴火履歴の検討結果および地下構造の評価結果から、発電所運用期間中における大山倉吉テフラ規模相当の噴火の可能性は十分低いと評価する。
火山影響評価上、発電所運用期間中の考慮すべき噴火規模としては、DKP以外の噴火の中で最大規模となる大山生竹軽石(DNP)の噴火の可能性を考慮し、その噴出規模を11km³とした降下火砕物シミュレーションを実施した結果、各発電所における最大層厚は高浜発電所21.9cm、大飯発電所19.3cm、美浜発電所13.5cmとなった。
- ・恵比須峠福田テフラについては、噴火履歴を検討した結果、発電所運用期間に鮮新世～中期更新世以前に活動したような規模の噴火の可能性は十分低く、降下火砕物が敷地に影響を及ぼす可能性は十分に小さいと評価する。

【噴出源が同定できない降下火砕物に関する検討結果】

- ・NEXCO80については、三方五湖東岸においては層厚20cmであったが再堆積を含んでいること、またその他周辺調査を行った結果層厚10cmを超えるものはなかったことからNEXCO80の降灰層厚は10cm以下と評価する。

【降下火砕物の層厚設定】

文献調査、地質調査及び降下火砕物シミュレーション結果を踏まえ、給源から越畑地点及び各発電所までの距離をもとに発電所運用期間中における敷地の降下火砕物の層厚は高浜発電所27cm、大飯発電所25cm、美浜発電所22cmと設定する。

4. 火山影響評価(立地及び影響評価)のまとめ

【立地評価】

立地評価上問題なし。

また、設計対応不可能な火山事象は発電所に到達しておらず、モニタリング対象とする火山はない。

【影響評価】

影響評価を行った結果、降下火砕物の影響が考えられるため、発電所への影響検討にあたっては、降下火砕物による影響評価に用いる条件について、地質調査結果、文献調査結果等を参考にして、以下のとおり設定した。

以下条件で、施設への影響評価を行う。

項目	条件			設定根拠
堆積厚さ	高浜	大飯	美浜	文献調査、地質調査及び降下火砕物シミュレーション結果結果を踏まえ、給源から越畑地点及び各発電所までの距離をもとに左記のとおり設定した。
	27.0cm	25.0cm	22.0cm	
粒径	1mm以下			津波堆積物調査で得られた火山灰の粒度試験結果から設定。
密度	乾燥状態 湿潤状態 0.7g/cm ³ ~ 1.5g/cm ³			津波堆積物調査結果、文献調査結果から設定。

5. 参考文献

- ・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ver.1.0(CD-ROM), 日本火山学会
- ・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], 東京大学出版会
- ・Victoria C. Smith , Richard A.Staff , Simon P.E. Blockley , Christopher Bronk Ramsey , Takeshi Nakagawa , Darren F.Mark , Keiji Takemura , Toru Danhara , Suigetsu 2006 Project Members(2013) : Identification and correlation of visible tephra in the Lake Suigetsu SG06 sedimentary archive , Japan : chronostratigraphic markers for synchronising of east Asian / west Pacific palaeoclimatic records across the last 150 ka , Quaternary Science Reviews , 67 , p.121—p.137
- ・石村大輔・加藤茂弘・岡田篤正・竹村恵二(2010): 三方湖東岸のボーリングコアに記録された三方断層帯の活動に伴う後期更新世の沈降イベント, 地学雑誌, 119, p.775—p.793
- ・関西電力(株)(2012): 平成23年東北地方太平洋沖地震の知見等を踏まえた原子力施設への地震動及び津波の影響に関する安全性評価のうち完新世に関する津波堆積物調査の結果について
- ・Shinji Nagaoka (1988) : The late quaternary tephra layers from the caldera volcanoes in and around Kagoshima bay , southern Kyushu , Japan , Geographical Reports of Tokyo Metropolitan University , 23 , p.49—p.122
- ・兼岡一郎・井田善明(1997): 火山とマグマ, 東京大学出版会
- ・東宮昭彦(1997): 実験岩石学的手法で求まるマグマ溜まりの深さ, 月刊地球, 19, p.720—p.724
- ・井口正人・太田雄策・中尾茂・園田忠臣・高山鐵朗・市川信夫(2011): 桜島昭和火口噴火開始以降のGPS観測 2010年～2011年, 「桜島火山における多項目観測に基づく火山噴火準備過程解明のための研究」平成22年度報告書

- ・力武常次・永田裕・小川勇二郎(1987): 改訂新版新地学, 数研出版
- ・小林哲夫・味喜大介・佐々木寿・井口正人・山元孝広・宇都浩三(2013): 桜島火山地質図(第2版), 産業技術総合研究所地質調査総合センター
- ・津久井雅志(1984): 大山火山の地質, 地質学会誌, 90, p.643—p.658
- ・守屋以智雄(1983): 日本の火山地形, 東京大学出版会, p.34
- ・米倉伸之・貝塚爽平・野上道男・鎮西清高(2001): 日本の地形 I 総説, 東京大学出版会, p.183—p.184
- ・岡田昭明・石賀敏(2000): 大山テフラ, 日本地質学会第107学術大会見学旅行案内書2000年松江, p.81—p.90
- ・加藤茂弘・山下徹・檀原徹(2004): 大山テフラの岩石記載的特徴と大山最下部テフラ層中のテフラの対比, 第四紀研究, 43, p.435—p.445
- ・須藤茂・猪股隆行・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, 地質調査研究報告書, 58, p.261—p.321
- ・津久井雅志・西戸裕嗣・長尾敬介(1985): 蒜山火山群・大山火山のK-Ar年代, 地質学雑誌, 91, p.279—p.288
- ・浅森浩一・梅田浩司(2005): 地下深部のマグマ・高温流体等の地球物理学的調査技術—鬼首・鳴子火山地域および紀伊半島南部地域への適用—, 原子力バックエンド研究, 11, p.147—p.156
- ・Dapeng Zhao , Wei Wei , Yukihisa Nishizono , Hirohito Inakura(2011): Low frequency earthquakes and tomography in western Japan : Insight into fluid and magmatic activity , Journal of Asian Earth Sciences , 42 , p.1381—p.1393

- ・大見士朗(2002): 西南日本内陸の活断層に発生する深部低周波地震, 京都大学防災研究所年報, 45B, 平成14年4月, p.545—p.553
- ・産業技術総合研究所(2014): 日本の主要第四紀火山の積算マグマ噴出量階段図
- ・USGS(<http://volcanoes.usgs.gov/images/pglossary/vei.php>)
- ・University of Wyoming (<http://weather.uwyo.edu/upperair/sounding.html>)
- ・Michigan Technological University: Forecasting Tephra Dispersion Using TEPHRA2
- ・University of South Florida(2011): Tephra2 Users Manual Spring
- ・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, p.173—p.187
- ・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, p.141—p.156
- ・日本原子力発電(株)(2014): 原子力規制委員会有識者会合による敦賀発電所敷地内破碎帯現地調査について(資料), 2014年1月24日
- ・竹村恵二・北川浩之・林田明・安田喜憲(1994): 三方湖・水月湖・黒田低地の堆積物の層相と年代—三方低地の最終寒氷期以降の堆積環境—, 地学雑誌, 103, p.233—p.242
- ・日本原子力発電(株)(2014): 敦賀発電所敷地内破碎帯の調査に関する有識者会合 第2回追加調査評価会合(当社資料), 2014年6月21日
- ・産総研データベース「日本の火山」: HP (https://gbank.gsj.jp/volcano/Quat_Vol/volcano_data/H17.html)
- ・気象庁: HP
(https://www.data.jma.go.jp/svd/vois/data/tokyo/STOCK/kaisetsu/katsukazan_toha/katsukazan_toha.html)

- ・山元孝広(2018): 大山火山のアダカイト質マグマ供給系, 日本火山学会講演予稿集 2018年度 秋季大会
- ・関西電力(2019): 大山火山灰に係る新知見を踏まえた噴出規模と原子力発電所ごとの敷地における降下火砕物の最大層厚に関する評価結果について
- ・山元(2017): 大山火山噴火履歴の再検討, 地質調査研究報告, 第68巻, 第1号, p.1-16, 2017
- ・原子力規制委員会(2018): 大山火山の大山生竹テフラの噴出規模見直しに伴う報告徴取命令の発出について(案), 平成30年12月12日
- ・原子力規制委員会(2019): 第8回地震・津波技術評価検討会, 参考資料1, 平成31年4月22日
- ・Dapeng Zhao, Xin Liu and Yuanyuan Hua(2018): Tottori earthquakes and Daisen volcano: Effects of fluids, slab melting and hot mantle upwelling. *Earth and Planetary Science Letters*, 485, p.121–p.129.
- ・Yamamoto and Hoang(2019): Geochemical variations of the Quaternary Daisen adakites, Southwest Japan, controlled by magma production rate. *LITHOS* 350-351 (2019) 105214,

— 資料集 —

- ・原子力規制委員会(2018): 大山火山の火山灰分布に関する関西電力との意見交換会及び現地調査結果について, 資料5, 平成30年11月21日
- ・桂睦会(1967): 京都市右京区, 越畑盆地の第四紀層 大阪層群総研連絡紙, No.2, 18-22
- ・京都府(1997): 平成8年度 京都西山断層群に関する調査研究成果報告書
- ・Takahara et al. (2000): Hikaru TAKAHARA, Yoshihiro UEMURA and Toru DANHARA(2000) The Vegetation and Climate History during the Early and Mid Last Glacial Period in Kamiyoshi Basin, Kyoto, Japan
- ・ Matsubara et al.(2019) : Matsubara, M., H. Sato, K. Uehira, M. Mochizuki, T. Kanazawa, N. Takahashi, K. Suzuki and S. Kamiya (2019) Seismic velocity structure in and around the Japanese Island src derived from seismic tomography including NIED MOWLAS Hi-net and S-net data, Seismic Waves - Probing Earth System, IntechOpen, 1-19, doi:10.5772/intechopen.86936
- ・ Legros(2000): Minimum volume of a tephra fallout deposit estimated from a single isopach. J. Volcanol. Geotherm. Res., 96, p.25—p.32
- ・ Hayakawa(1985): Pyroclastic geology of Towada volcano. Bull. Earthq. Res. Inst. Univ. Tokyo 60, p.507—p.592