

資料3

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徵収命令 に基づく関西電力株式会社からの報告について

平成31年4月17日
原 子 力 規 制 庁

1. 経緯

関西電力株式会社（以下「関西電力」という。）の原子力発電所の新規制基準に基づく許可時^{注)}における火山影響評価では、次のとおり評価している。

- ・須藤ほか（2007）^{*1}で示された噴出量をもとに大山火山の活動履歴を評価している。
- ・大山火山の活動履歴において、40万年前以降、最も規模の大きな噴火は、大山倉吉テフラ（以下「DKP」という。）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る。
- ・一方、数 k m^3 以下の規模の噴火については、DKP噴火以前、またはそれ以降においても繰り返し発生している。
- ・また、マグマ溜まりは20 km以深で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7 kmより深い。
- ・以上のことから、原子力発電所の運用期間中にDKP規模相当の噴火の可能性は十分小さいとし、繰り返し発生している数 k m^3 以下の規模の噴火の中でも最大の5 k m^3 を考慮している。

平成30年11月21日に開催された原子力規制委員会（以下「規制委員会」という。）において、大山火山を起源とする降下火碎物の火山影響評価に関し、京都市越畠地点の大山生竹テフラ（以下「DNP」という。）の降灰層厚は25 cm程度であること、また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10 k m^3 以上と考えられることが、新知見（以下「本新知見」という。）として認定された。

^{注)} 高浜発電所3, 4号：平成27年2月12日 許可
高浜発電所1, 2(3, 4)号：平成28年4月20日 許可
美浜発電所3号：平成28年10月5日 許可
大飯発電所3, 4号：平成29年5月24日 許可

平成30年12月12日に開催された規制委員会において、本新知見が、関西電力の原子力発電所における敷地の降下火砕物の最大層厚に影響を与え、その結果、原子炉設置変更許可の評価に用いた前提条件に有意な変更が生じる可能性があると考え、原子炉等規制法第67条第1項の規定に基づき、DNPの噴出規模及びその評価結果を踏まえた、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ついて、本年3月31日までに報告することを命じた（以下「報告徴収命令」という。別添1）。

原子力規制庁（以下「規制庁」という。）は、3月29日に関西電力より当該報告徴収命令に基づく報告書（別添2）を受領し、4月5日に石渡原子力規制委員会委員出席のもと、「大山火山の大山生竹テフラの噴出規模に係る報告徴収結果に関する会合」を開催し、関西電力から提出された報告書の内容について、確認を行った。

関西電力から提出された報告書の概要、規制庁の評価について以下のとおり整理した。

2. 関西電力の報告書の概要

（1）DNPの降灰層厚から算出されたDNPの噴出規模

関西電力は、DNPの等層厚線図の作成にあたり、町田・新井（2001）^{*2}【新編 火山灰アトラス】（以下「火山灰アトラス」という。）に記載されているDNPに関する情報（等層厚線図）、報告徴収命令に基づく越畠地点等の7地点に岡田・谷本（1986）^{*3}に示されている7地点を加えた合計14地点におけるDNPの降灰層厚を用いている。これら14地点の降灰層厚の情報から、須藤ほか（2007）^{*3}の方法に従い、火口から滑らかな閉じた曲線として3本の等層厚線（100cm、50cm及び25cm）を作成している。これらの等層厚線図をもとに、Legros（2000）^{*4}及びHayakawa（1985）^{*5}による2つの手法によりDNPの噴出量を算出しているが、これらの手法は単一の閉じられた等層厚線から降下火砕物の噴出量を算出する方法である。両者の方法は降灰層厚と面積の積に係数を乗じて噴出量を求めるものであるが、この係数の違いは、Legros（2000）は層厚変化を指數関数的に外挿する方法で見積もられた噴出量を基に作成された最小限の体積を求める近似式の係数であるのに対し、Hayakawa（1985）は軽石中の結晶の含有率から比例計算で求めた噴出量の平均値を基に作成された近似式の係数であることに依存する。その結果、Hayakawa（1985）により算出した25cmの等層厚線の噴出量11.0km³が最大となった。噴出量を算出する方法として、これ以外に須藤ほか（2007）のように複数の閉じられた等層厚線から求める方法もあるが、必要となる火山からの距離と層厚との関係を精度良く求められないことから、この方法は採用していない。

なお、報告徴収命令において指示した越畠地点等の7地点の降灰層厚に基づく評価は行われていない。

(2) 関西電力の原子力発電所ごとの敷地における降下火碎物の最大層厚

関西電力は、既許可時の原子炉設置変更許可申請書と同じ移流拡散モデルを用いたシミュレーションにより、原子力発電所の敷地における降下火碎物の最大層厚を算出している。算出に使用したプログラムは Tephra2 であり、入力パラメータのうち、噴出量については今回算出された噴出量の中で最大の 11.0 km^3 を採用している。また、噴出量以外の条件は、当該原子炉設置変更許可申請書において不確かさも含め、各発電所で最大層厚を算出したケースと同一の値を採用している。その結果は、以下のとおりである。

関西電力の 原子力発電所	敷地における降下火碎物の 最大層厚
高浜発電所	21.9 cm
大飯発電所	19.3 cm
美浜発電所	13.5 cm

(3) 発電所運用期間中のDNP規模の噴火の可能性

関西電力は、DNPとDKPは、約8～5.5万年前の期間に発生した一連の巨大噴火であったと考えられることなどから、発電所運用期間中に今回噴出量を算出したDNP規模の噴火の可能性は十分低いと考えられるとしている。

3. 規制庁の評価

(1) 報告徴収命令に基づく7地点の降灰層厚に基づく評価結果について

報告徴収命令に基づく越畠地点等の7地点における降灰層厚に基づく評価がなされていないことについて確認した結果、関西電力からは、報告徴収命令の解釈を誤り、より精度が向上する14地点における降灰層厚に基づく評価の方を行ったとの説明があった。

規制庁において、噴出規模算定の根拠となった等層厚線の作成方法について確認したところ、以下のとおりであり、報告徴収命令に基づく越畠地点等の7地点における降灰層厚から算出される噴出規模は、関西電力が報告した14地点における降灰層厚から算出された噴出規模と有意な差違が生ずる可能性はほとんどないと考えられる。

- ・関西電力が追加した文献に示されている7地点は、100cmの等層厚線を作成する際の情報として用いられているが、100cmの等層厚線は火山灰アトラスの100cmの等層厚線を若干広げるように変更している

- だけである。したがって、報告微収命令に基づく越畠地点等の7地点だけで100cmの等層厚線を作成するとこれよりも狭くなると考えられる。
- ・50cmの等層厚線は、100cmの等層厚線の形状を参考とした橢円を設定し、また25cmの等層厚線は、100cm及び50cmの等層厚線と整合するような橢円の形状としている。
 - ・Legros (2000) 及び Hayakawa (1985) による方法のいずれにおいても、25cmの等層厚線から算出した噴出量が最大である。

(2) DNPの降灰層厚から算出されたDNPの噴出規模

関西電力から報告のあったDNPの噴出規模11.0km³については、以下の点から、詳細に確認する必要はあるものの、議論の前提に足るものであると考えられる。

- ・等層厚線は、報告微収命令に基づく越畠地点等の7地点に文献に示されている7地点を加えた14地点を基に火山灰アトラスも踏まえて作成されており、25cmは火山灰アトラスに記載がないものの、100cm及び50cmの形状と整合的である。なお、25cmの等層厚線は、規制委員会が新知見とした越畠地点の降灰層厚に基づくものである。
- ・単一の閉じられた等層厚線から求められる噴出量の評価方法として、Legros (2000) 及び Hayakawa (1985) の手法を採用し、より保守的である25cmの等層厚線で囲まれた面積と降灰層厚を用いて Hayakawa (1985) により算出した11.0km³の値を採用している。
- ・平成30年11月21日に開催された規制委員会において、規制庁より、越畠地点等の7地点の降灰層厚を概ね再現できるDNPの噴出規模を概算するため、山元 (2017)^{*6}で示されたDNPの噴出量6.1km³とその倍の12.2km³の2ケースでシミュレーション解析（別添3）を実施し、後者の方が概ね再現される解析結果であることを報告したが、その結果と大きく変わるものではない。

(3) 関西電力の原子力発電所ごとの敷地における降下火碎物の最大層厚

関西電力から報告のあった原子力発電所における降下火碎物の最大層厚は、以下の点から、詳細に確認する必要はあるものの、議論の前提に足るものであると考えられる。

- ・原子力発電所ごとの敷地における降下火碎物の最大層厚を算出するにあたり、噴出量以外の入力パラメータは、既許可の原子炉設置変更許可申請書において不確かさも含め、各発電所で最大層厚を算出したケースと同一の値を採用している。その結果、既許可による噴出量5km³と今回評価した噴出量11.0km³を比較すると2.2倍であり、原子力発電所ごとの敷地における降下火碎物の最大層厚も同様になっている。

(4) 発電所運用期間中のDNP規模の噴火の可能性

今回の関西電力の報告では、DNPとDKPは約8～5.5万年前の期間に発生した一連の巨大噴火であったとしているが、これは、Legros(2000)及びHayakawa (1985)で算出したDNPと須藤ほか(2007)に示されているDNP以外の噴出量を直接比較することによりDNPとDKPを一連の巨大噴火としていることから、適切でないと考える。今回、関西電力が採用したLegros(2000)及びHayakawa (1985)で算出した火山灰主体の主な噴火の噴出量を基に大山の活動履歴を評価すると、DKPとDKP以外の噴出量との関係は、DKPだけが突出して巨大噴火並に大きいことから、既許可と同様、原子力発電所の運用期間中にDKP規模相当の噴火の可能性は十分低いと評価するが、繰り返し生じているDNPを含む他の噴火を考慮することが適切と考える。

噴出物	噴出年代 (万年)	須藤ほか (2007) に 示されている噴出量	山元 (2017) による噴出量	
			Legros 法	Hayakawa 法 ^{注)}
奥津軽石 (DOP)	21.0	4.29km ³	5.5km ³	18.3km ³
別所軽石 (DBP)	19.0	0.23km ³	2.9km ³	9.8km ³
松江軽石 (DMP)	13.0	2.19km ³	2.9km ³	9.2km ³
生竹軽石 (DNP)	8.0	1.10km ³	6.1km ³	20.1km ³
倉吉軽石 (DKP)	6.0	20.74km ³	32.0km ³	104.9km ³

注) 山元(2017)に示されている降下火碎物の等層厚線の囲む面積と降灰層厚より、規制庁が Hayakawa (1985)により算出した噴出量

なお、同じ Hayakawa (1985) で求めたDNPの噴出量が、今回の関西電力からの報告と山元 (2017) とで異なるのは、以下の通り越畠地点の層厚と等層厚線の形状（面積）の違いである。

	越畠地点の 層厚	等層厚線図の 面積	DNP噴出量 (Hayakawa 法)
関西電力からの 報告	25cm (調査結果)	3,589km ²	11.0km ³
山元 (2017)	30cm (文献情報)	5,500km ²	20.1km ³ ^{注)}

注) 山元(2017)は、越畠地点 1 地点の文献情報から等層厚線を作成し、それから求めた噴出量

4.まとめ

平成30年12月の規制委員会による報告徴収命令に対し、関西電力からDNPの噴出規模とそれを基にした原子力発電所の敷地における最大層厚について、3月29日に報告があった。

これらの内容については詳細に確認する必要はあるものの、報告徴収を再度必要とするものではない。

一方で、報告徴収命令に基づく評価により、敷地における最大層厚が、既許可の10cmから、発電所によって異なるが20cm前後の値になり得ることから、少なくとも発電所の安全機能に影響を及ぼしうる火山事象に係る基本設計方針に影響があり得ると考えられる。

<参考文献>

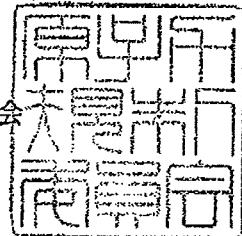
- * 1 : 須藤茂・猪俣隆行・佐々木寿・向山 栄(2007)わが国の降下火山灰データベース作成、地質調査研究報告、58、261-321.
- * 2 : 町田洋・新井房夫(2011)新編 火山灰アトラス[日本列島とその周辺]、東京大学出版会
- * 3 : 岡田昭明・谷本慎一(1986)大山下部火山灰から新たに発見された2枚の降下軽石層について、鳥取大学教育学部研究報告、自然科学、35、33-42.
- * 4 : Legros, F. (2000) Minimum volume of tephra fallout deposit estimated from a single isopach. Journal of volcanological and Geothermal Research, 96, 25-32.
- * 5 : Hayakawa, Y. (1985) Pyroclastic geology of Towada volcano. Bulletin of the Earthquake Research Institute, University of Tokyo, 60, 507-592.
- * 6 : 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、68、1-16.

- 別添1 核原料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律第67条第1項の規定に基づく報告の徴収について
- 別添2 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
- 別添3 規制庁による噴出規模シミュレーション結果（平成30年11月21日 第42回原子力規制委員会資料5より）

原規規発第1812124号
平成30年12月12日

関西電力株式会社
取締役社長 岩根 茂樹 殿

原子力規制委員会



核原料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律第67条第1項の規定に基づく報告の徴収について

平成30年11月21日開催された原子力規制委員会（以下「当委員会」という。）において、「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」に基づき、京都市越畠地点の大山生竹テフラ（以下「DNP」という。）の降灰層厚は25cm程度であること、また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認定した。

貴社の高浜発電所、大飯発電所及び美浜発電所に関する原子炉設置変更許可の評価に用いた前提条件に有意な変更が生じる可能性があると考えられることから、当委員会は、貴社に対し、核原料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律（昭和32年法律第166号）第67条第1項の規定に基づき、下記の事項について、平成31年3月31日までに報告することを命ずる。

なお、この処分について不服がある場合は、この処分があったことを知った日の翌日から起算して3か月以内に、書面により当委員会に対して審査請求をすることができる。

この処分については、審査請求のほか、この処分があったことを知った日の翌日から起算して6か月以内に、国を被告として（訴訟において国を代表する者は法務大臣となる。）、処分の取消しの訴えを提起することができる。なお、審査請求をした場合には、処分の取消しの訴えは、その審査請求に対する裁決があったことを知った日の翌日から起算して6か月以内に提起することができる。

ただし、上記の期間が経過する前に、この処分（審査請求をした場合には、その審査請求に対する裁決）があった日の翌日から起算して1年を経過した場合は、審査請求をすることや処分の取消しの訴えを提起することができない。なお、正当な理由があるときは、上記の期間やこの処分（審査請求をした場合には、その審査請求に対する裁決）があった日の翌日から起算して1年を経過した後であっても審査請求をすることや処分の取消しの訴えを提起することが認められる場合がある。

記

1. 越畠地点等の7地点における下表のDNPの降灰層厚に基づくDNPの噴出規模

評価地点	降灰層厚	備考
大山池	200cm	関西電力の報告（平成30年3月1日報告資料；調査結果）
上斎原(石越)	100cm	原子力規制庁の確認（岡田・石賀（2000）の第11図の柱状図から層厚を読み取り）
上斎原(中津河)	150cm	原子力規制庁の確認（岡田・石賀（2000）の第11図の柱状図から層厚を読み取り）
瀬川山	10～15cm	関西電力の報告（平成30年3月1日報告資料；調査結果）
越畠	25cm	原子力規制庁の確認（平成30年10月29日現地調査結果）
水月湖	なし	関西電力の報告（平成30年10月5日報告資料；Albert et al.(2018)に記載されている内容を採用）
琵琶湖高島沖	5cm	関西電力の報告（平成30年10月5日報告資料；長橋ほか（2004）に記載されている数字を採用）

なお、上記7地点の降灰層厚に基づく評価のほか、それ以外の地点の降灰層厚も考慮に入れた評価を併せて提出することは妨げない。

2. 上記1. の評価結果を踏まえた、不確かさケースも含め既許可※の原子炉設置変更許可申請書と同一の方法による大山火山の降下火碎物シミュレーションに基づく原子力発電所（高浜発電所、大飯発電所及び美浜発電所）ごとの敷地における降下火碎物の最大層厚

※高浜発電所：平成27年2月12日付け原規規発第1502121号

大飯発電所：平成29年5月24日付け原規規発第1705242号

美浜発電所：平成28年10月5日付け原規規発第16100514号

以上

関土建発第 号
平成31年 3月29日

核原料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律第67条

第1項の規定に基づく報告の徴収に対する報告

原子力規制委員会 殿

氏名又は名称 関西電力株式会社
取締役社長 岩根 旗
住所又は居所 大阪市北区中之島3丁目
連絡先電話番号 06-6441-8821(代表)

平成30年12月12日付け(原規規発第1812124号)で報告徴収のあった下記の行政文書に対して、次のとおり報告します。

記

1. 徴収のあった行政文書の名称

- ・核原料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律第67条第1項の規定に基づく報告の徴収について

2. 内容

- ・上記1.の行政文書に対する報告として報告書を提出します。
報告書: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碎物の最大層厚に関する評価結果について

3. 担当箇所

担当箇所:土木建築室 地震津波評価グループ
電話番号:06-6441-8821(代表)

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碎物の
最大層厚に関する評価結果について

平成31年3月

関西電力株式会社

目 次

1.はじめに.....	1
2.噴出規模に関する評価.....	3
2.1 DNPの噴出規模の算出方法について.....	3
2.2 等層厚線図に用いる降灰層厚情報について.....	3
2.3 等層厚線図について.....	4
2.4 降下火碎物の噴出量の算出について.....	7
2.4.1 等層厚線図から噴出量を算出する方法について.....	7
2.4.2 降下火碎物の算出結果について.....	8
3.降下火碎物シミュレーションに基づく原子力発電所の降下火碎物 の最大層厚.....	10
3.1 層厚算出に用いる降下火碎物シミュレーションについて.....	10
3.2 高浜発電所の最大層厚の結果について.....	12
3.3 大飯発電所の最大層厚の結果について.....	13
3.4 美浜発電所の最大層厚の結果について.....	14
3.5 評価結果.....	15
4.考察.....	18
5.結論.....	22
参考文献.....	23

1. はじめに

平成 29 年 6 月 14 日の第 15 回原子力規制委員会にて報告された「火山活動可能性評価に係る安全研究を踏まえた規制対応について」に基づき、当社は大山生竹テフラ(DNP)の降灰分布についての情報収集を行うことを求められた。当社はその求めに応じ、対象文献（山元(2017)⁽¹⁾）に記載のある倉吉市大山池地点、養父市大屋地点、福知山市土師地点、京都市越畠地点及び香美町瀬川山地点の計 5 地点の DNP について、現地調査による産出状況の確認、採取した試料の分析など詳細な検討を行い、それらの結果を取りまとめ、平成 30 年 3 月 1 日に原子力規制庁に報告した。

その報告に対して、平成 30 年 3 月 28 日の第 75 回原子力規制委員会にて原子力規制庁は京都市越畠地点以外の 4 地点に関しては当社の調査結果とほぼ同様の見解を示したもの、京都市越畠地点は土石流堆積物と比較して鉱物含有量が多いこと、及び 2c 層との境界が不明瞭な部分もあることから、2a 層とされている一部についても純層である可能性は否定できないことを根拠に越畠地点における DNP の最大層厚は山元(2017)⁽¹⁾において引用している文献値(30cm)よりやや小さい 26 cm とみなすことが可能であるとの見解を示した。あわせて原子力規制委員会はこの見解に対して議論が必要であれば、公開の場で行うとの方針を示した。

この方針を受けて、当社は追加調査を実施し、平成 30 年 6 月 29 日及び 10 月 5 日の意見交換会、10 月 29 日の現地調査にて当社の見解を改めて説明した。

その後、平成 30 年 11 月 21 日の第 42 回原子力規制委員会にて「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」が報告され、原子力規制庁としての見解が改めて示された。その見解では、当社が主張したラミナや礫の存在は流水の影響を示すものではなく、京都市越畠地点は降灰層厚として評価できる地点と判断し、越畠 2 地点の状況も踏まえて降灰層厚は 25cm であること、その層厚をもとに降下火砕物シミュレーションを行った結果、DNP の噴出量は既存の研究で考えられていた規模を上回る 10km³ 以上であると結論付け、原子力規制委員会は新知見であると認定した。

これを受け、平成 30 年 12 月 12 日の第 47 回原子力規制委員会にて、本新知見は、新規制基準に基づく既許可の原子力発電所（高浜発電所、大飯発電所及び美浜発電所）における敷地の降下火碎物の最大層厚に影響を与え、その結果、原子炉設置変更許可の評価に用いた前提条件に有意な変更が生じる可能性があると考えられるため、核原料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律第 67 条第 1 項の規定に基づき、当社に報告を求めることが了承され、当社は報告徴収命令を受領した。

当社が報告徴収命令において報告を求められた項目は、①越畠地点等の 7 地点における DNP の降灰層厚に基づく DNP の噴出規模（なお 7 地点の降灰層厚に基づく評価のほか、それ以外の地点の降灰層厚も考慮に入れた評価を併せて提出することは妨げない。）、②その噴出規模の評価結果を踏まえた不確かさケースも含め、既許可の原子炉設置変更許可申請書と同一の方法による大山火山の降下火碎物シミュレーションに基づく、原子力発電所（高浜発電所、大飯発電所及び美浜発電所）ごとの敷地における降下火碎物の最大層厚の 2 項目である。

本報告書は、その報告徴収命令に従い、報告すべき項目について取りまとめたものである。

2. 噴出規模に関する評価

2.1 DNP の噴出規模の算出方法について

DNP の噴出規模は、2.2 及び 2.3 に示す考え方に基づき、当社が作成した等層厚線図を用いて算出した。

2.2 等層厚線図に用いる降灰層厚情報について

DNP の等層厚線図については、町田・新井(2011)⁽²⁾：新編 火山灰アトラス【日本列島とその周辺】（以下「火山灰アトラス」という。）に報告徵収命令で示された 7 地点の情報を加えるとともに、DNP の降灰層厚に関する文献を調査し、適切にその情報を反映して作成した。

DNP の降灰層厚に関する文献で当社が引用したものは、岡田・谷本(1986)⁽³⁾、田中他(1982)⁽⁴⁾及び野村・田中(1992)⁽⁵⁾の 3 編である。これらの文献に記載される DNP に関する内容は、以下のとおりである。

① 岡田・谷本(1986)⁽³⁾の文献について

岡田・谷本(1986)⁽³⁾に記載されている柱状図から以下に述べる対象地点の DNP の層厚を読み取ると、倉吉市服部地点で 45cm、倉吉市倅谷～般若間地点（以下「倅谷・般若地点」という。）で 110cm、関金町荒田地点で 115cm、関金町関金宿～三朝町福本間地点（以下「関金宿・福本地点」という。）で 220cm、中和村別所地点で 50cm、人形峠地点で 120cm、上斎原村恩原貯水池南地点で 120cm と記載されている。

② 田中他(1982)⁽⁴⁾の文献について

田中他(1982)⁽⁴⁾によれば、兵庫県多可町奥荒田林道入口地点（以下「奥荒田地点」という。）で DNP の層厚が 40～60cm と記載されている。

③ 野村・田中(1992) (5)の文献について

野村・田中(1992)⁽⁵⁾によれば、兵庫県丹波市氷上町沼地点（以下「沼地点」という。）でDNPの層厚が30cmと記載されている。

上記①～③のうち①で記載される7地点については、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。一方、②、③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これら2地点に近い地点がないことから、その層厚の値の確からしさを確認できなかったため、これら2地点の情報は、参考扱いとした。

以上より、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、報告徵収命令で示された7地点と岡田・谷本(1986)⁽³⁾に示された7地点の計14地点となった。

2.3 等層厚線図について

2.2で選定した14地点の情報を用いて、層厚が厚い順に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)⁽⁶⁾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。

- (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橢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。

また、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。

第2.3.1図にDNPの等層厚線図を示す。また①～⑥に各等層厚線の作成の考え方を示す。



第 2.3.1 図 DNP の等層厚線図

① 100cm の等層厚線について

火山灰アトラスに示される 100cm の等層厚線と伴谷・般若地点(110cm)、大山池地点(200cm)、上斎原(右越)地点(100cm)、上斎原(中津河)地点(150cm)、関金町荒田地点(115cm)、関金宿・福本地点(220cm)、人形峠地点(120cm)及び上斎原村恩原貯水池南地点(120cm)の 8 地点が整合しているかを確認し、伴谷・般若地点(110cm)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。

ただし、伴谷・般若地点(110cm)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。

② 50cm の等層厚線について

50cm の等層厚線は、中和村別所地点(50cm)と倉吉市服部地点(45cm)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橢円を設定した。橢円の形状は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)⁽⁵⁾に記載される(a)に従い形状を橢円に変更した。

③ 25cm の等層厚線について

25cm の等層厚線は、越畠地点(25cm)と大山を結ぶ直線を長辺とする橢円を設定した。橢円の形状は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。

④ 15cm の等層厚線について

15cm の等層厚線は、瀬川山地点(15cm)を通り、①～③で設定した 100cm 、 50cm 及び 25cm の等層厚線の等層厚線の形

状と整合するような楕円の一部を設定した。なお、主軸方向に 15cm の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。

⑤ 5cm の等層厚線について

5cm の等層厚線は、琵琶湖高島沖地点(5cm)を通り、①～③で設定した 100cm 、 50cm 及び 25cm の等層厚線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。なお、主軸方向に 5cm の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。

⑥ 0cm の等層厚線について

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。

なお、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。また、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。

2.4 降下火碎物の噴出量の算出について

2.4.1 等層厚線図から噴出量を算出する方法について

降下火碎物の噴出量を算出する方法として、等層厚線図から噴出量を算出する方法を採用した。この方法には、①複数の閉じられた等層厚線から求める方法と、②单一の閉じられた等層厚線から求める方法がある。

今回、当社が作成した等層厚線のうち、閉じられた等層厚線は 3 本

だけであり、①の方法で必要となる火山からの距離と層厚との関係を、精度よく求めることができないと判断したため、今回は②の方法を採用した。

採用した②の方法には、Legros(2000)⁽⁷⁾の方法（以下「Legros 法」という。）と Hayakawa (1985)⁽⁸⁾の方法（以下「Hayakawa 法」という。）の 2 つの方法がある。

2.4.2 降下火砕物の噴出量の算出結果について

2.3 で作成した等層厚線図を基に Legros 法と Hayakawa 法の 2 つの手法を用いて DNP の降下火砕物の噴出量を算出した。両手法とも閉じられた 1 本の等層厚線で囲まれた部分の面積に層厚と各係数を乗じて降下火砕物の全体積を算出する方法である。2.2 で作成した等層厚線図のうち、閉じられた等層厚線は 100cm、50cm、25cm の 3 本であり、それらの等層厚線で囲まれた部分の面積を Google Earth Pro により算出した結果、それぞれ 474km^2 、 $1,646\text{km}^2$ 、 $3,589\text{km}^2$ となった。これら 3 つの等層厚線より、DNP の噴出量をそれぞれ算出した。

第 2.4.2.1 表及び第 2.4.2.2 表にそれぞれの結果を示す。

第 2.4.2.1 表 Legros 法を用いた DNP の降下火砕物の噴出量算出結果

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

第 2.4.2.2 表 Hayakawa 法を用いた DNP の降下火碎物の噴出量算出結果

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、Legros 法及び Hayakawa 法により噴出量を算出した結果、Legros 法の場合 $1.8\text{km}^3 \sim 3.4\text{km}^3$ 、Hayakawa 法の場合 $5.8\text{km}^3 \sim 11.0\text{km}^3$ となった。

3. 降下火碎物シミュレーションに基づく原子力発電所の降下火碎物の最大層厚

3.1 層厚算出に用いる降下火碎物シミュレーションについて

高浜・大飯・美浜発電所における原子炉設置変更許可申請書と同じ手法により、各発電所の敷地における降下火碎物の最大層厚を算出した。

算出する上で使用したプログラムは Tephra2 であり、必要な入力パラメータのうち、噴出量については保守的な層厚値を得ることを考慮し、2.4.2 で得られた噴出量の中で最大である 11.0km^3 を採用した。また噴出量以外の条件は、上記原子炉設置変更許可申請書において不確かさケースも含め、各発電所で最大層厚を算出したケースと同一の値を採用した。

具体的な入力パラメータは以下のとおりである。

- ・噴出量

11.0km^3

- ・噴煙柱高度

25,000m

- ・噴火口標高

1,729m

- ・粒径のパラメータ

最大粒径 $1/2^{-10}\text{mm}$

最小粒径 $1/2^{10}\text{mm}$

中央粒径 $1/2^{4.5}\text{mm}$

標準偏差 $1/2^{3.0}\text{mm}$

- ・軽石密度

1.0t/m^3

- ・岩石密度

2.6t/m³

- ・粒子の拡散に関するパラメータ

渦拡散係数 0.04m²/s

拡散係数 10,000m²/s

落下時間閾値 3,600 秒

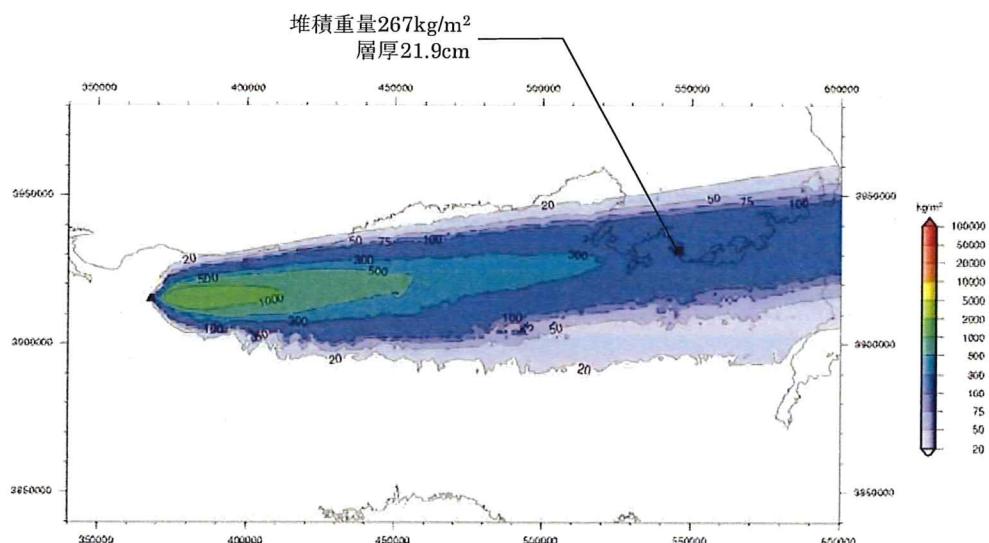
- ・風速、風向

高浜発電所及び大飯発電所の風速については、12 月の平均風速に標準偏差を加えた風速を用いた。また、風向については、12 月の最頻値を用いた。

美浜発電所の風速については、11 月の平均風速に標準偏差を加えた風速を用いた。また、風向については、11 月の最頻値を用いた。

3.2 高浜発電所の最大層厚の結果について

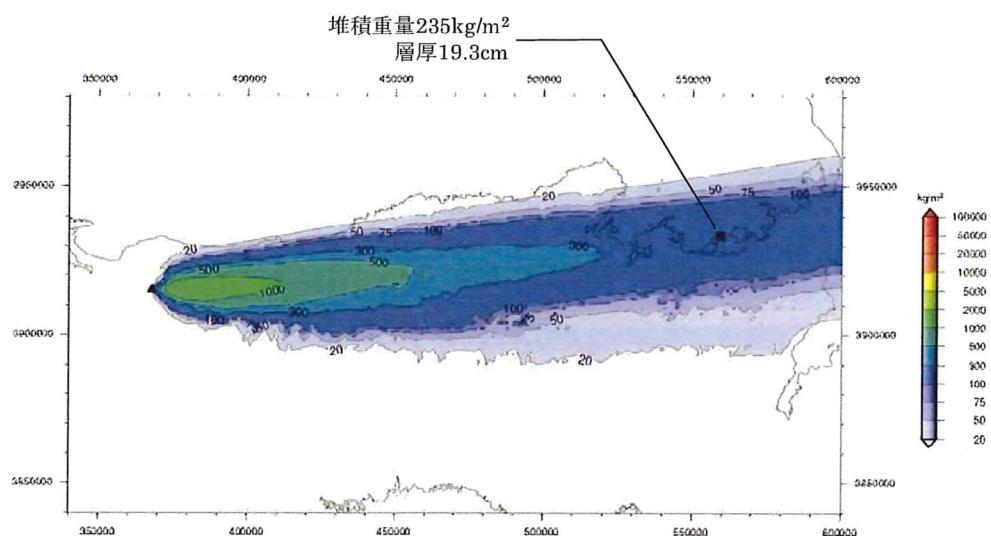
Tephra2 を用いた降下火碎物シミュレーションの結果、高浜発電所での降下火碎物堆積重量と堆積した粒径分布から求めた等価密度より、層厚を算出した。その結果、最大層厚は、21.9cm であった。等層厚線図を第 3.2.1 図に示す。



第 3.2.1 図 等層厚線図（風速：平均風速 + 標準偏差 風向：12 月最頻値）

3.3 大飯発電所の最大層厚の結果について

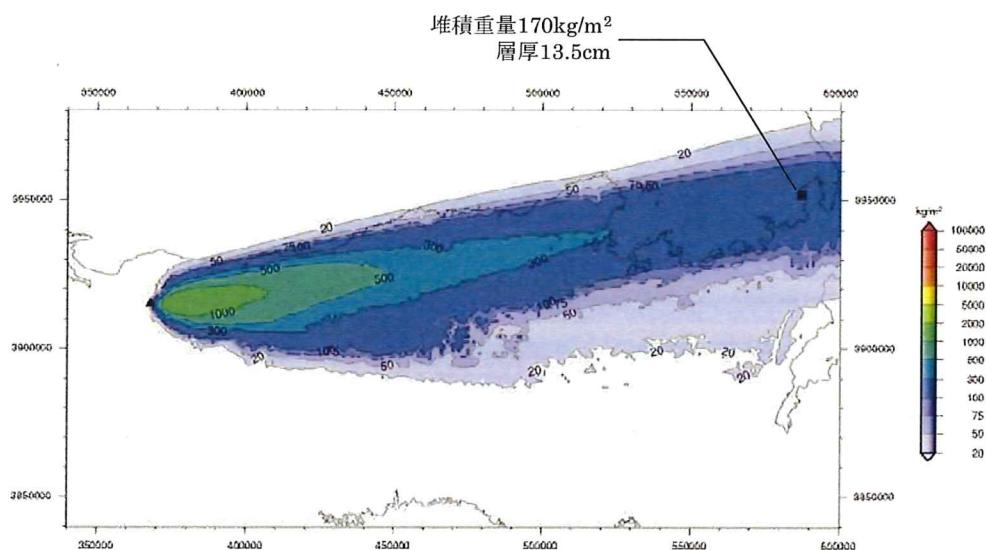
Tephra2 を用いた降下火砕物シミュレーションの結果、大飯発電所での降下火砕物堆積重量と堆積した粒径分布から求めた等価密度より、層厚を算出した。その結果、最大層厚は 19.3cm であった。等層厚線図を第 3.3.1 図に示す。



第 3.3.1 図 等層厚線図（風速：平均風速+標準偏差 風向：12 月最頻値）

3.4 美浜発電所の最大層厚の結果について

Tephra2 を用いた降下火砕物シミュレーションの結果、美浜発電所での降下火砕物堆積重量と堆積した粒径分布から求めた等価密度より、層厚を算出した。その結果、最大層厚は、13.5cm であった。等層厚線図を第 3.4.1 図に示す。



第 3.4.1 図 等層厚線図（風速：平均風速 + 標準偏差 風向：11 月最頻値）

3.5 評価結果

各発電所を対象に Tephra2 を用いた降下火碎物シミュレーションの結果を第 3.5.1 表に示す。

第 3.5.1 表 各発電所の降下火碎物の最大層厚結果

噴出量	高浜発電所 最大層厚	大飯発電所 最大層厚	美浜発電所 最大層厚
11.0km ³	21.9cm	19.3cm	13.5cm

なお、各発電所の降下火碎物に対する施設の裕度については、平成 30 年 10 月 5 日に開催された「第 2 回大山火山の火山灰分布に関する情報収集に係る意見交換会」の「資料 3-2 降下火碎物に対する施設の裕度について」に、当社が検討した実力評価を示している（第 3.5.2 表～第 3.5.5 表）。

具体的には、降下火碎物に対する施設の裕度について、建屋では 28cm 以上、機器では 47cm 以上あると確認しており、第 3.5.1 表に示す最大層厚は、これを下回っている。

第 3.5.2 表 各発電所の降下火碎物に対する施設の裕度（1）

大飯 3・4号機 ⇒ 許認可ベースの評価手法でも30cm以上に対処可能。
高浜 3・4号機 ⇒ 許認可ベースでは21cm程度。短期の部材評価で28cm程度。

		建屋名	許容層厚(cm)		
			許認可*	許認可ベースの評価	部材評価
大飯 3・4号機	原子炉格納容器			98	-
	原子炉周辺建屋			31	-
	制御建屋			50	-
	廃棄物処理建屋			51	-
高浜 3・4号機	外部しゃへい建屋			46	100以上
	外周建屋	10以下		21	28
	燃料取扱建屋			21	97
	原子炉補助建屋			21	100以上
	中間建屋			27	100以上
	ディーゼル発電機建屋			27	63
	燃料取扱用水タンク建屋			21	100以上

* 許認可では、30日の短期荷重に対して、除灰を前提。

第 3.5.3 表 各発電所の降下火碎物に対する施設の裕度（2）

高浜 1・2号機 ⇒ 許認可ベースでは19cm程度。短期の部材評価で39cm程度。
美浜 3号機 ⇒ 許認可ベースでは20cm程度。短期の部材評価で32cm程度。

		建屋名	許容層厚(cm)		
			許認可*	許認可ベースの評価	部材評価
高浜 1・2号機	外部しゃへい建屋			35	100以上
	原子炉補助建屋			19	64
	燃料取扱建屋			19	63
	中間建屋			31	100以上
	ディーゼル建屋		10以下	20	73
美浜 3号機	制御建屋			20	39
	外部しゃへい建屋			31	100以上
	原子炉補助建屋			20	78
	燃料取扱建屋			20	32
	中間建屋			31	100以上
	ディーゼル建屋			20	100以上
	制御建屋			20	74

* 許認可では、30日の短期荷重に対して、除灰を前提。

第 3.5.4 表 各発電所の降下火碎物に対する施設の裕度 (3)

建屋以外で降灰想定に対する実力評価をすべきは、屋外タンク（復水タンク：高浜 3・4 号機のみ、大飯 3・4 号機は屋内の復水ピット）、非常用ディーゼル発電機の吸気フィルタが考えられる。

機器	許認可	許容層厚 (cm) ※1)	
		許認可ベースの評価	実力評価
大飯 3・4 号機	屋外タンク無し	—	—
	非常用DG 吸気フィルタ	—	対策後 : 60 ※2) (改良型フィルタ配備済)
高浜 3・4 号機	復水タンク	10以下	①許認可を超える層厚に対しても除灰により対処可能 ②タンクを防護している巻き防護設備(架構とネット)へのシート設置により、3号は70cm、4号は100cm以上対処可能
	非常用DG 吸気フィルタ	15	対策後 : 50 ※2) (改良型フィルタ配備済)

※1) 24時間で降り積もった場合の許容層厚。

※2) 火山灰濃度がフィルタ閉塞時間に比例するとして、フィルタ閉塞時間をフィルタ取替時間で割った値を裕度とし、裕度に10cmを掛けた値を許容層厚とした。

第 3.5.5 表 各発電所の降下火碎物に対する施設の裕度 (4)

建屋以外で降灰想定に対する実力評価をすべきは、屋外タンク、非常用ディーゼル発電機の吸気フィルタが考えられる。

機器	許容層厚 (cm) ※1)		
	許認可	許認可ベースの評価	実力評価
高浜 1・2 号機	燃料取替用水 タンク	14 (20※2))	①許認可を超える層厚に対しても除灰により対処可能 ②タンクを防護している巻き防護設備(架構とネット)へのシート設置により、47cmまで対処可能
	復水タンク	67 (67※2))	—
美浜 3 号機	非常用DG 吸気フィルタ	10以下	・可燃型フィルタ設計中 ・再稼動までに配備予定 ・許容層厚はO34と同程度の見込み
	燃料取替用水 タンク	12 (18※2))	①許認可を超える層厚に対しても除灰により対処可能 ②タンクを防護している巻き防護設備(架構とネット)へのシート設置により、66cmまで対処可能
	復水タンク	29 (31※2))	・可燃型フィルタ設計中 ・再稼動までに配備予定 ・許容層厚はO34と同程度の見込み
	非常用DG 吸気フィルタ	—	

※1) 24 時間で降り積もった場合の許容層厚

※2) 強度評価では、評価温度を高く設定し評価しているため、環境温度で評価

4. 考察

今回、2.の噴出量算出において、報告徵収命令に提示されている越畠地点等の7地点に新たに文献調査等から得られた7地点を加えた計14地点での降灰層厚を元に、等層厚線図を作成し、DNP噴出量を算出した。今後も観察地点の追加、既存地点の再評価などにより、新たなデータが得られれば、原子力発電所の安全性向上に資するように適切に対応していく。

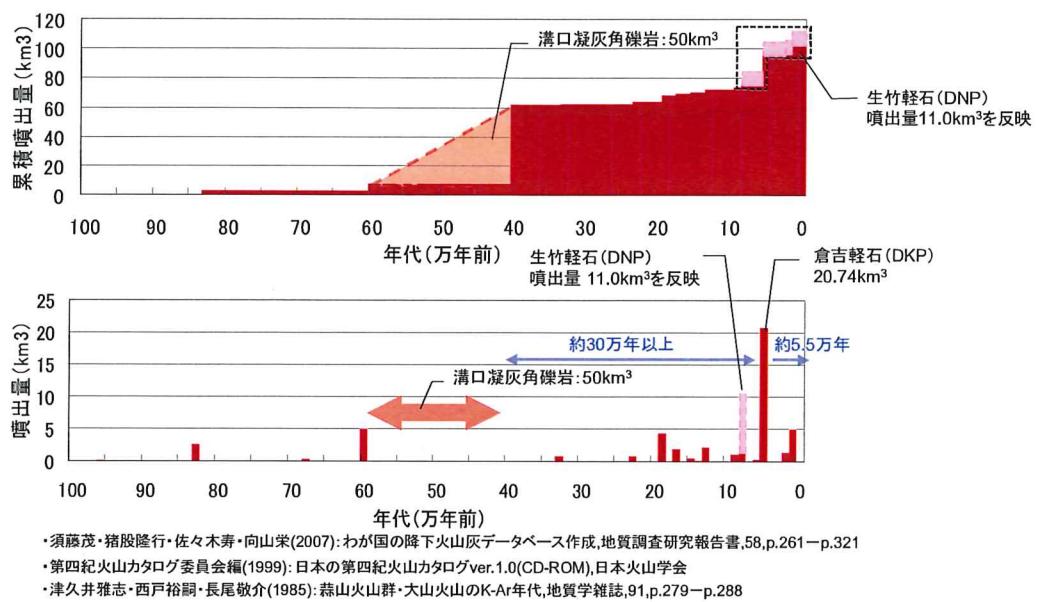
次に本検討結果を踏まえた大山の噴火可能性について考察を行う。降下火碎物シミュレーションで用いた噴出量の 11 km^3 を噴火履歴に反映すると、第4.1図となる。これを見ると40万年前以降、 10 km^3 以上の噴火を起こしているものは今回噴出量を算出したDNP（約8万年前）と大山倉吉軽石（DKP 約5.5万年前）の2つの噴火だけであり、その期間（約8~5.5万年前）以外では数 km^3 以下の噴火しか発生していない。以上のことから、今回噴出量を算出したDNPとDKPは約8~5.5万年前の期間（高噴出期）に発生した一連の巨大噴火であったと考えられる。このような考えは、産業技術総合研究所の山元研究主幹が実施した研究（山元(2017)⁽¹⁾）にも同様なものが示されている。さらに山元(2018)⁽⁹⁾では、大山は約10万年前からマグマ噴出率が大きくなり、DKP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とされている。

また、当社が提出している設置変更許可申請書にも記載があるとおり、文献によると、第四紀火山の発達史的分類では、大山は現在、第4期に整理されており、その第4期の噴出量は第1期~第3期に比べて少なく、数 km^3 とされている。

最後に大山の地下構造に関して考察を行うと、当社はこれまでの設置変更許可申請において、Zhao et al.,(2011)を引用している。Zhao et al.,(2011)は、大山の地下深部に広がる低速度層と、大山の西で生じている低周波地震の存在から、地下深部のマグマ溜まりの存在する可能性を示唆しているが、仮にマグマ溜まりだとしても、これらの低速度層は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と評価している（第4.2図）。この研究をさらに進めたZhao et al.,(2018)⁽¹⁰⁾においても、大山の地下深部の低速度層の存在が示さ

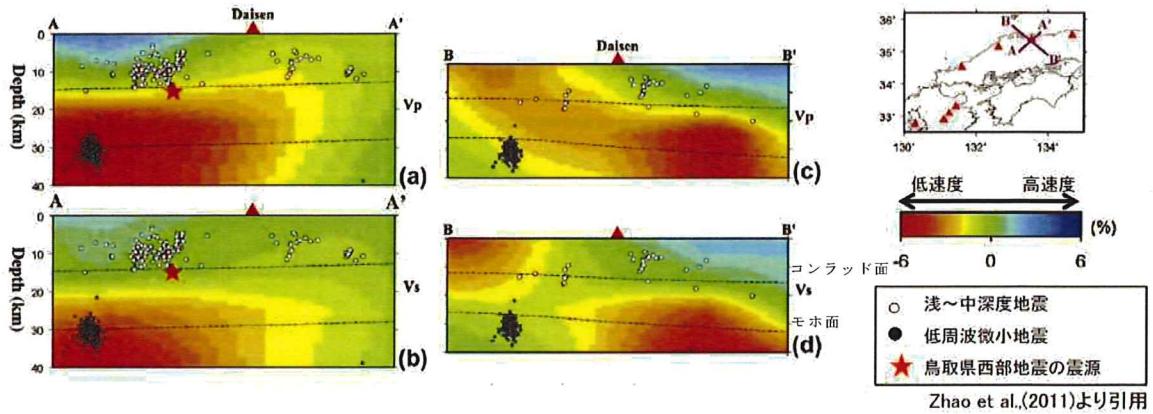
れているが、その深度は Zhao et al.,(2011)と同程度であり、大山の地下深部に広がる低速度層の深度に変化がないものと考えられる（第 4.3 図）。

以上のことから大山は現在、数 km^3 規模の噴火しか起こらない段階にあり、仮に今回噴出量を算出した DNP と同等規模の噴火が今後、発生するとしても、今回噴出量を算出した DNP・DKP 噴火に至る活動間隔（約 30 万年以上）は、これらの噴火以降の経過時間である約 5.5 万年に比べて十分長いことから、次の噴火までには十分な時間的余裕があると考えられ、発電所運用期間中に今回噴出量を算出した DNP 規模の噴火の可能性は十分低いと考えられる。

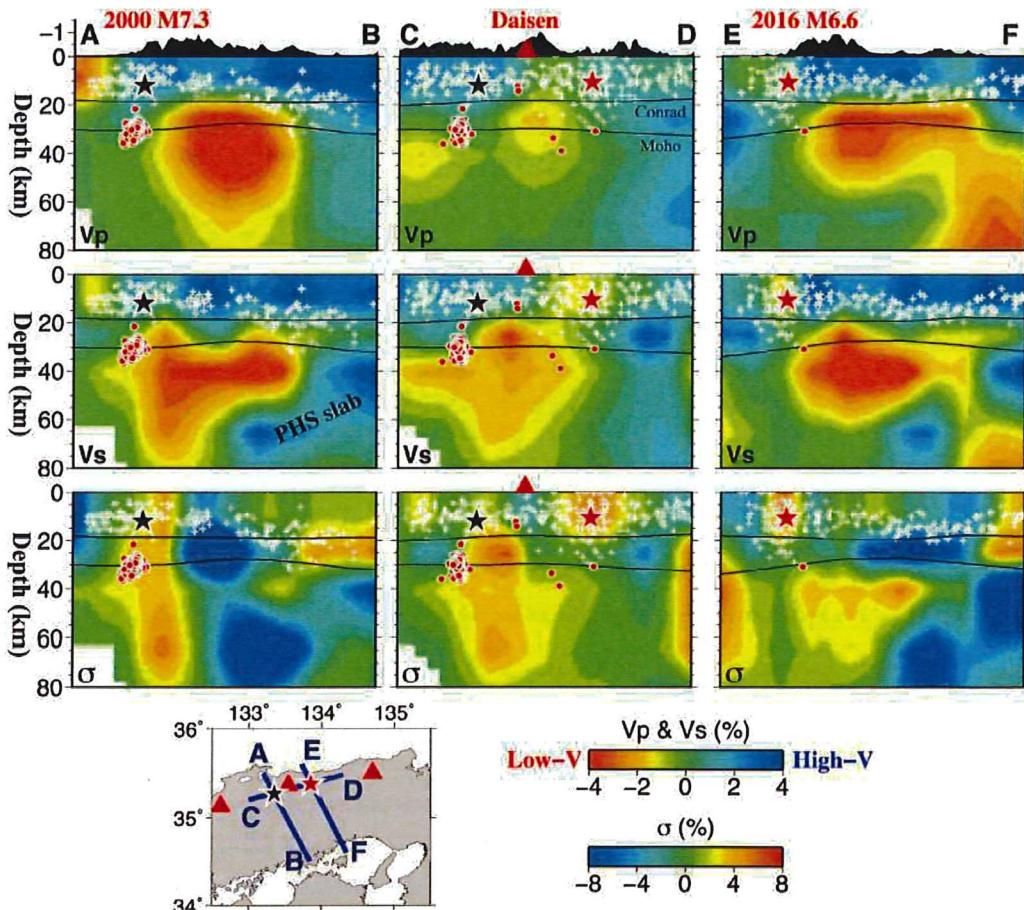


第436回審査会合 資料1-1 P40 より引用・加筆

第4.1図 大山火山に関する噴火履歴及び階段ダイヤグラム



第4.2図 Zhao et al.,(2011)地震波トモグラフィ解析結果



第4.3図 Zhao et al.,(2018)⁽¹⁰⁾地震波トモグラフィ解析結果

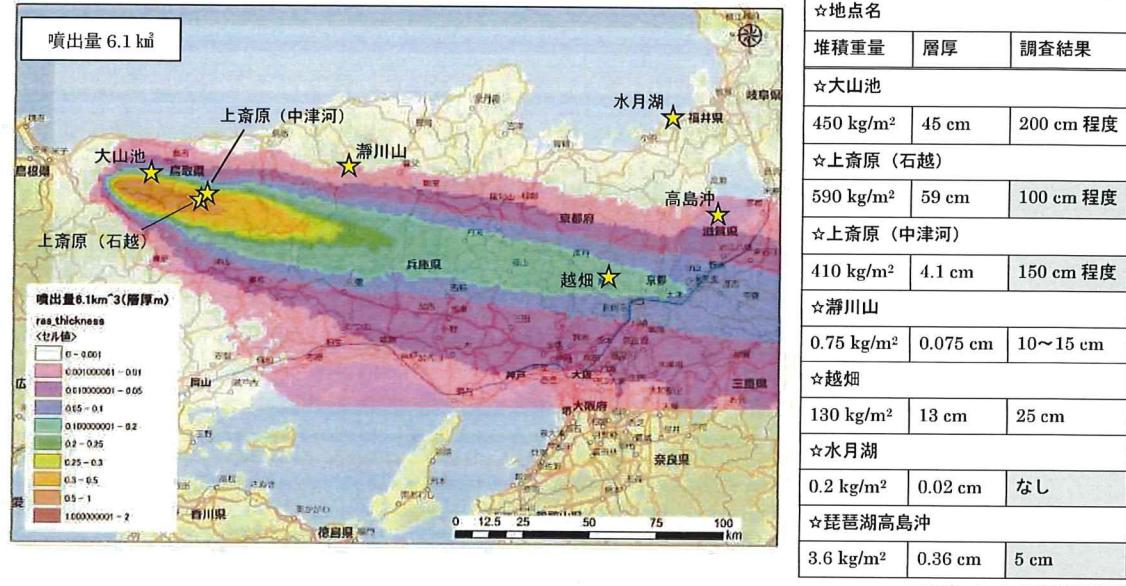
5. 結論

越畠地点等の 14 地点における D N P の降灰層厚に基づく D N P の噴出規模は、Legros 法の場合、 $1.8\text{km}^3 \sim 3.4\text{km}^3$ 、Hayakawa 法の場合、 $5.8\text{km}^3 \sim 11.0\text{km}^3$ となった。またこの噴出量のうち、最大の 11.0km^3 を用いた降下火砕物シミュレーションによる各発電所の敷地における降下火砕物の最大層厚は、高浜発電所で 21.9cm、大飯発電所で 19.3cm、美浜発電所で 13.5cm となった。

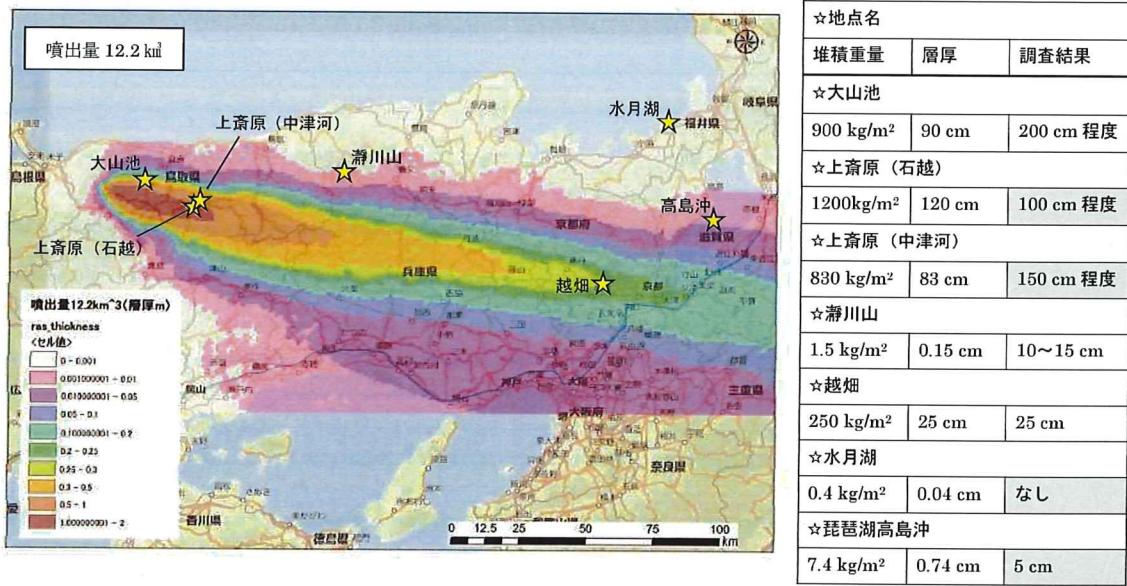
今回の評価で得られた噴出規模 (11.0km^3) をもとにした噴火履歴の検討及び文献による火山の発達史的分類や地下構造の評価の結果より、発電所運用期間中に今回算出した D N P 規模の噴火の可能性は、十分低いと考えられる。

参考文献

- (1) 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 卷, 第 1 号, p.1—p.16,
- (2) 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
- (3) 岡田昭明・谷本慎一(1986) : 大山下部火山灰から新たに発見された 2 枚の降下軽石層について
- (4) 田中眞吾・井上茂・野村亮太郎(1982) : 杉原川流域の山麓緩斜面の形成機構ならびに形成年代について—兵庫県南半部の麓層面の研究, 第 1 報—, 地理学評論, 55-8, p.525—p.548
- (5) 野村亮太郎・田中眞吾(1992) : 兵庫県東部に降下した後期更新世以降のテフラ. 神戸大教養部紀要「論集」, 50, p.1—p.16
- (6) 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
- (7) Legros F. (2000) : Minimum volume of a tephra fallout deposit estimated from a single isopach. *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, 96, p.25—p.32
- (8) Hayakawa, Y. (1985) : Pyroclastic geology of Towada volcano. *Bull. Earthq. Res. Inst. Univ. Tokyo* 60, p.507—p.592
- (9) 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 秋季大会, A3—11, p.44
- (10) 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*, 10.1016/j.epsl.2017.12.040, 485, p.121—p.129



※灰色ハッシュは文献記載値



※灰色ハッシュは文献記載値

図2. 規制庁による噴出規模シミュレーション結果

「大山火山の火山灰分布に関する情報収集調査結果について 越畠地点追加検討結果の説明について」(関西電力株式会社 平成30年10月5日)で実施された降灰シミュレーション解析条件を参照してパラメータ設定を行い、DNPの噴出規模の検討を行った。

本解析では、気象条件及び噴出量以外は、関西電力株式会社が設定したパラメータ値と同じ値を用いた。気象条件については、関西電力株式会社が高浜、大飯、美浜の各発電所の新規制基準で適合性審査において用いた敷地に最も厳しいとした気象条件のうち、風向を京都市越畠方向へ回転させた仮想風を作成して用いた。噴出量は、山元(2017)で示されたDNPの噴出量6.1 km³及びその2倍の値である12.2 km³を用いた。2倍の値を用いて検討した理由は、山元(2017)ではLegros(2000)で提案された噴出物の最小限の体積を求める算出式で噴出量を求めており、また、求められた噴出量は最小限の体積であるため、真の体積はこの最小値の数倍以内であることが多いとされているからである。なお、層厚は全層密度を1000 kg/m³で換算して求めた。