

島根原子力発電所  
火山影響評価について  
(降下火砕物の影響評価について)

---

令和2年5月14日  
中国電力株式会社

No.	説明事項	説明方針	頁
1	原子力発電所の火山影響評価ガイド(一部改正)における「設計対応不可能な火山事象を伴う火山活動の評価」の巨大噴火の考え方に基づく三瓶山の影響評価について	原子力発電所の火山影響評価ガイド(一部改正)における「設計対応不可能な火山事象を伴う火山活動の評価」の巨大噴火の考え方を踏まえ、三瓶山の影響評価を行う。	3～54
2	大山生竹テフラの噴出規模に関する新知見等を踏まえた検討について	大山生竹テフラの噴出規模に関する新知見等を踏まえ、大山の降下火砕物の影響評価を行う。	56～107
3	敷地において考慮する降下火砕物の層厚について	説明事項No.1～No.2を踏まえ、敷地において考慮する降下火砕物の層厚評価について整理する。	108～110
4	降下火砕物の粒径の設定について	原子力発電所の火山影響評価ガイド(一部改正)の気中降下火砕物濃度の推定手法を踏まえ、設備の影響評価に用いる粒径範囲を見直す。	112～114
参考	火山灰シミュレーションTephra2のバグ修正に係る影響検討について	火山灰シミュレーションTephra2のバグ修正に伴う降灰層厚への影響を確認する。	115～162

---

余白

No.	説明事項	説明方針
1	原子力発電所の火山影響評価ガイド(一部改正)における「設計対応不可能な火山事象を伴う火山活動の評価」の巨大噴火の考え方に基づく三瓶山の影響評価について	原子力発電所の火山影響評価ガイド(一部改正)における「設計対応不可能な火山事象を伴う火山活動の評価」の巨大噴火の考え方を踏まえ、三瓶山の影響評価を行う。

1. 三瓶山の降下火砕物の分布に関する調査	5
2. 三瓶山の噴火規模の想定	9
2. 1 噴火履歴の検討	9
2. 2 巨大噴火に関する評価	19
2. 3 地球物理学的調査	21
2. 4 火山噴火予知連絡会等による評価	24
2. 5 噴火規模の想定	29
3. 三瓶山に関する火山灰シミュレーション	30
4. 三瓶山の降下火砕物の影響評価	54

- ・町田・新井(2011)<sup>(1)</sup>によると, 三瓶木次テフラ(SK)は敷地に到達(層厚:概ね5~100cm)しているとされている。
- ・三瓶浮布テフラ(SUK), 三瓶池田テフラ(SI)及び三瓶大田(SOd)は敷地に到達していないとされている。

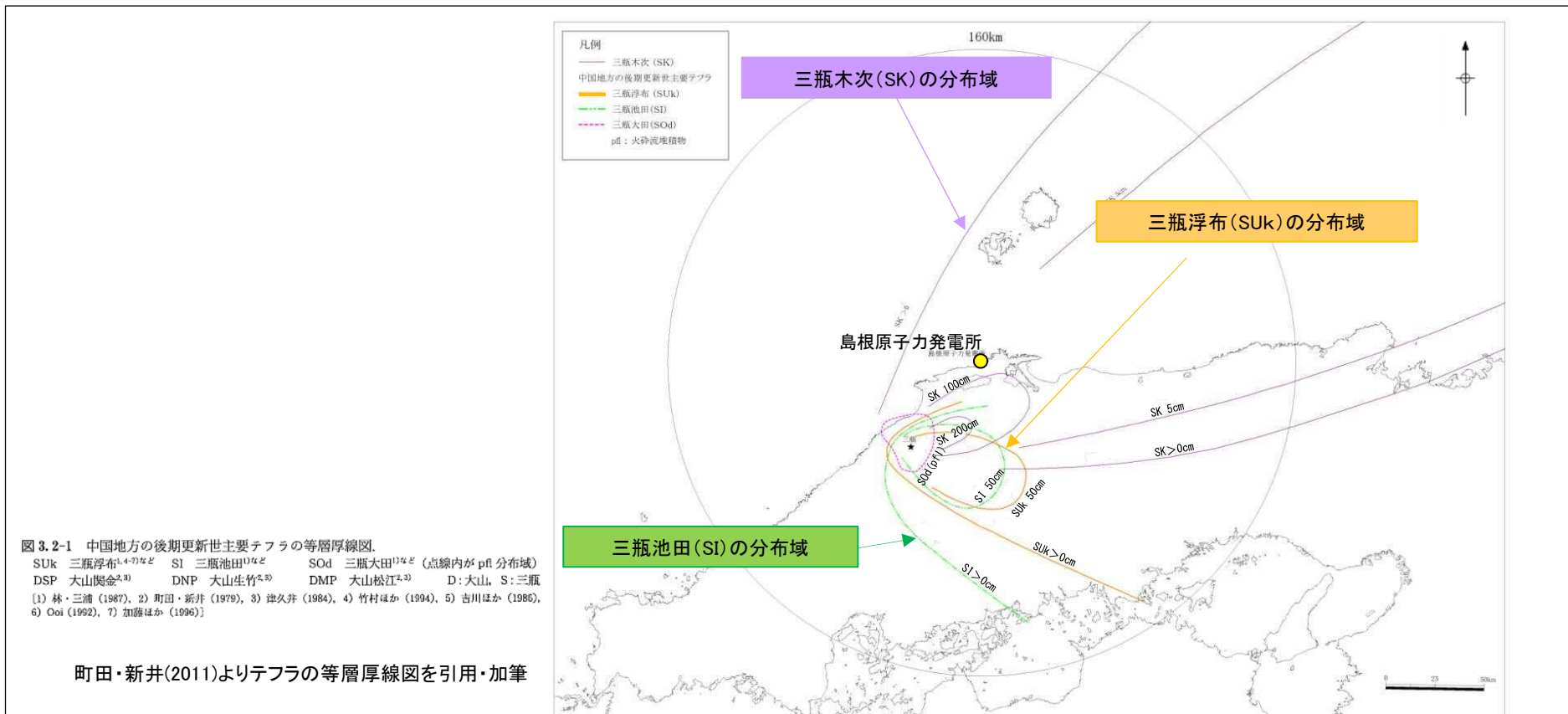
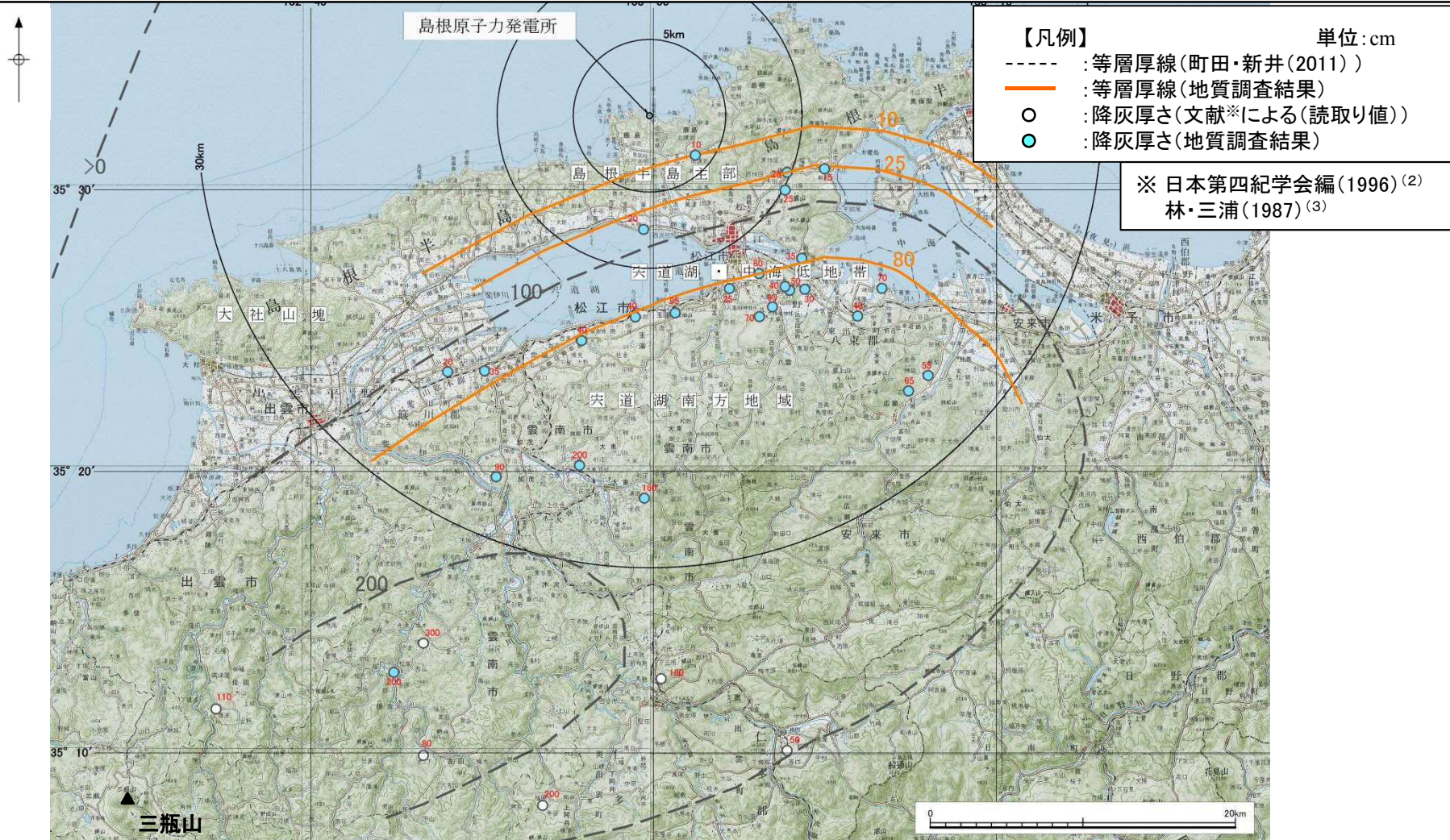


図 3. 2-1 中国地方の後期更新世主要テフラの等層厚線図。

SUK 三瓶浮布<sup>1,4,7)</sup>など SI 三瓶池田<sup>9)</sup>など SOd 三瓶大田<sup>1)</sup>など (点線内が pH 分布域)  
 DSP 大山関金<sup>2,3)</sup> DNP 大山生竹<sup>6)</sup> DMP 大山松江<sup>2,3)</sup> D: 大山, S: 三瓶  
 [1) 林・三浦 (1987), 2) 町田・新井 (1979), 3) 津久井 (1984), 4) 竹村ほか (1994), 5) 吉川ほか (1986),  
 6) Ooi (1992), 7) 加藤ほか (1996)]

# 三瓶山の降下火砕物の分布に関する調査(地質調査)

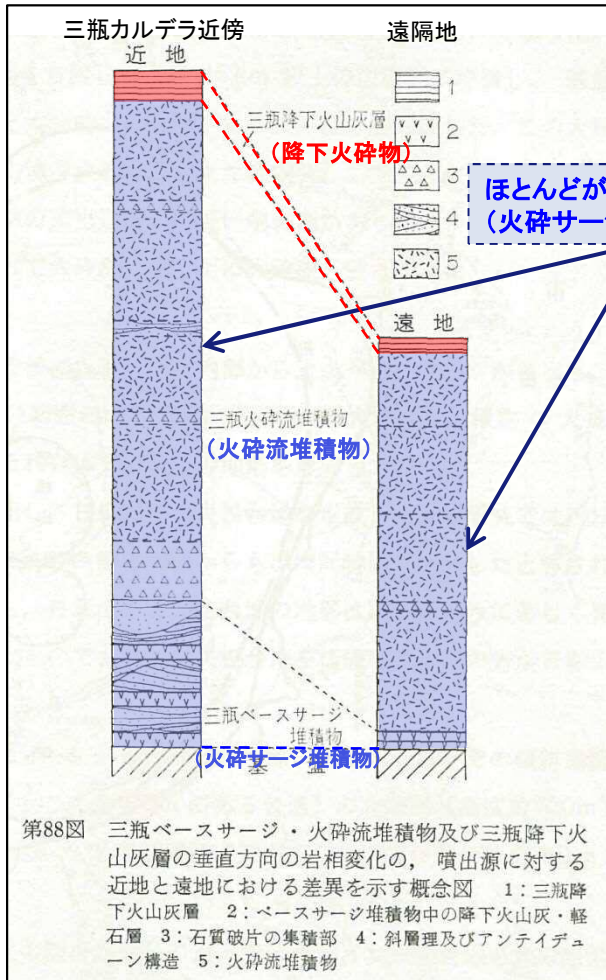
文献調査により敷地周辺で確認されている三瓶木次テフラ(SK)について、敷地周辺における層厚を確認するための地質調査を行った。降灰厚さの評価に用いた地点及びこれに基づく等層厚線を示す。



地質調査の結果、敷地は三瓶木次テフラ(SK)の等層厚線で10cm程度の範囲に位置している。また、敷地では降下火砕物は確認されていない。

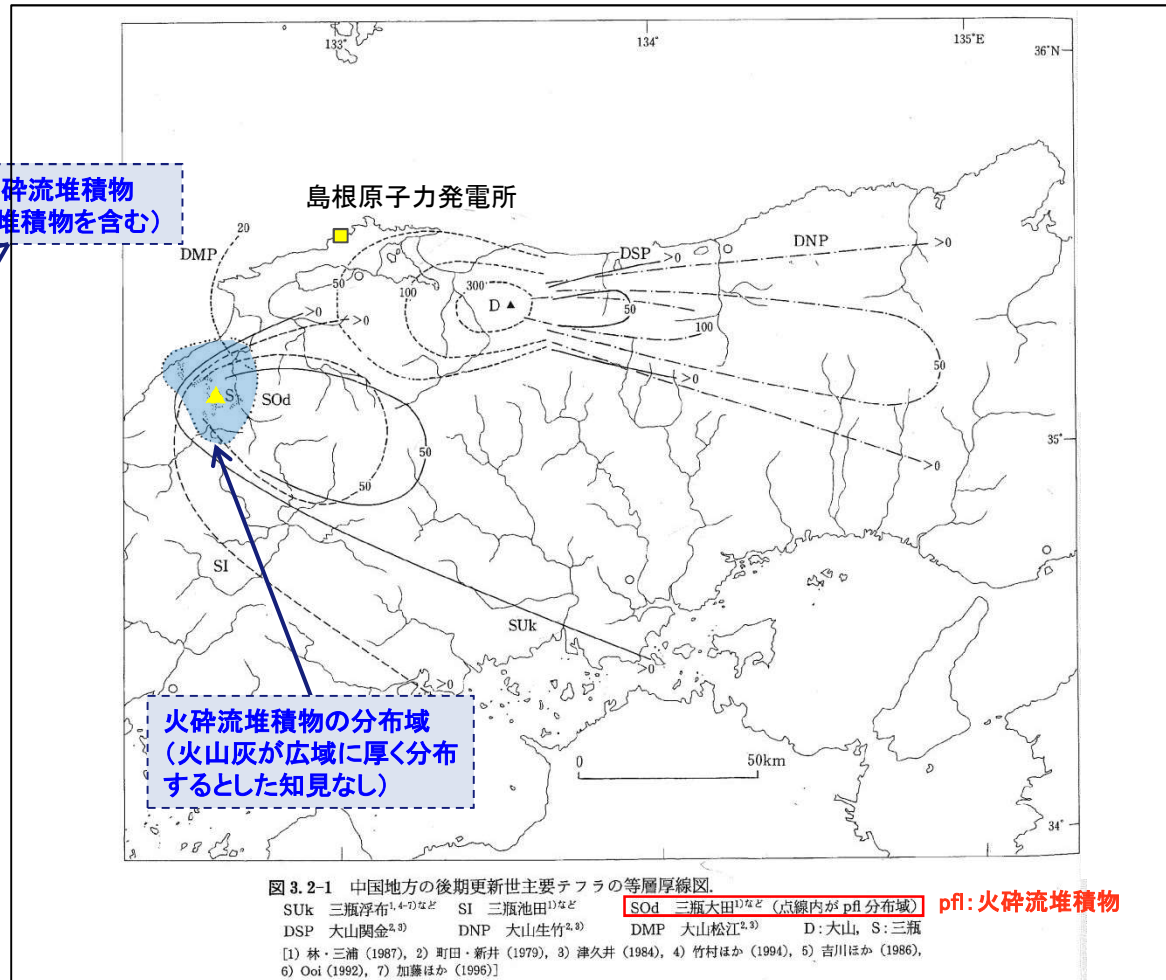
# 三瓶山の降下火砕物の分布に関する調査(文献調査)

## 三瓶大田噴出時の火山噴出物の構成



服部ほか(1983)より引用・加筆

## 降下火砕物の分布域



町田・新井(2011)より引用・加筆

・町田・新井(2011)によると、三瓶大田(SOk)は火砕流堆積物(pfl)の分布域として記載されている。  
 ・服部ほか(1983)<sup>(4)</sup>によると、三瓶大田噴出時の火山噴出物について、「これらは、互いに時間をほとんど置かず相次いで起った一連の噴火活動の産物であると考えられる。」とし、また、「降下火山灰層の分布面積・層厚は著しく小さい。」とされている。



# 三瓶山の降下火砕物の分布に関する調査(文献調査)

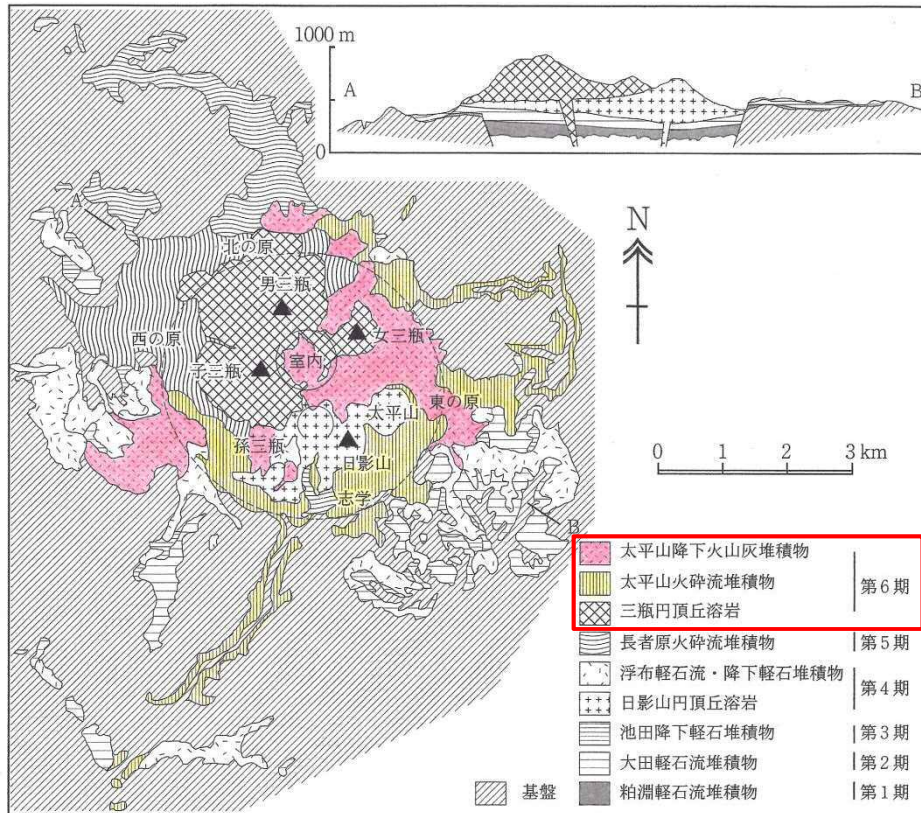


図 6.3.6 島根県三瓶山の地質図と地質断面図 (松井・井上, 1971 を簡略化)

日本地質学会編(2009)<sup>(7)</sup>より引用・加筆

## 三瓶太平山噴火時の降下火砕物の分布範囲

### 三瓶太平山噴火(噴出量2.6km<sup>3</sup>)時の降下火砕物について

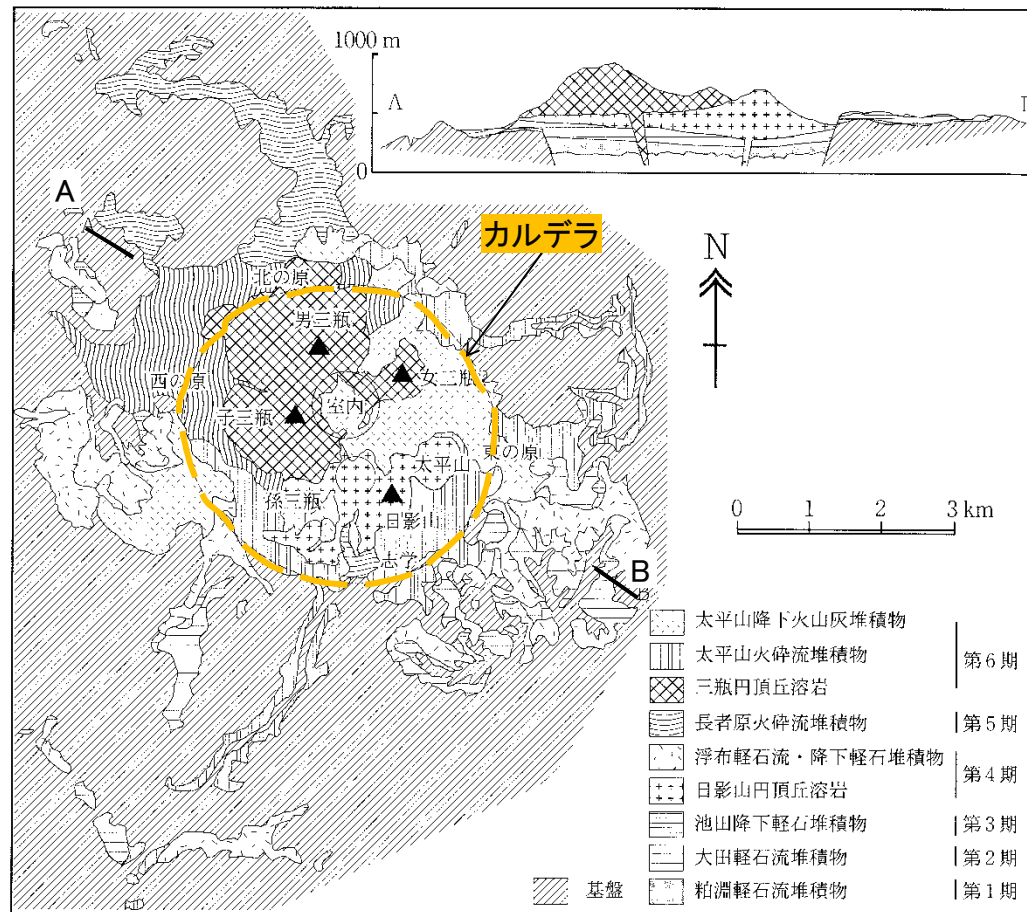
- 松井・井上(1971)<sup>(5)</sup>によると、三瓶太平山噴火に伴う火山灰は、火砕流の余燼(じん)的堆積物であり、火砕流の付近しか分布していないとされている。
- 草野・中山(1999)<sup>(6)</sup>によると、太平山火砕流をブロックアンドアッシュフロー(溶岩ドーム崩落に伴う火砕流)であるとし、出雲平野で連続の良好な降下火山灰層がないこと、三瓶山とその周辺を広く覆う降下火砕物ユニットが存在しないことから、太平山期に噴煙柱を高く上げ多量の降下火砕物を広く伴うような噴火はなかったとされている。
- また、敷地では、三瓶太平山噴火時の降下火砕物は確認されていない。

## 2. 三瓶山の噴火規模の想定 2.1 噴火履歴の検討 三瓶山の噴火履歴の検討(三瓶山の概要)

第238回審査会合  
資料2-1 P37 再掲

9

敷地の南西約55kmに位置し、最大標高約1,126mの男三瓶山を最高峰とする。日本地質学会編(2009)によると、直径約5kmのカルデラと、カルデラ形成期の軽石流堆積物及びカルデラ中央のデイサイト溶岩ドーム山体からなる複成火山とされている。



日本地質学会編(2009)より引用・加筆

### 火山形式

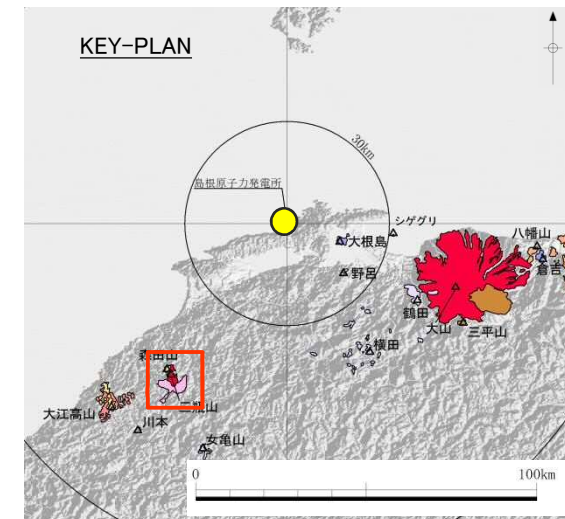
火砕流台地—カルデラと火砕丘及び溶岩ドーム

地質調査総合センター(2013)<sup>(8)</sup>による

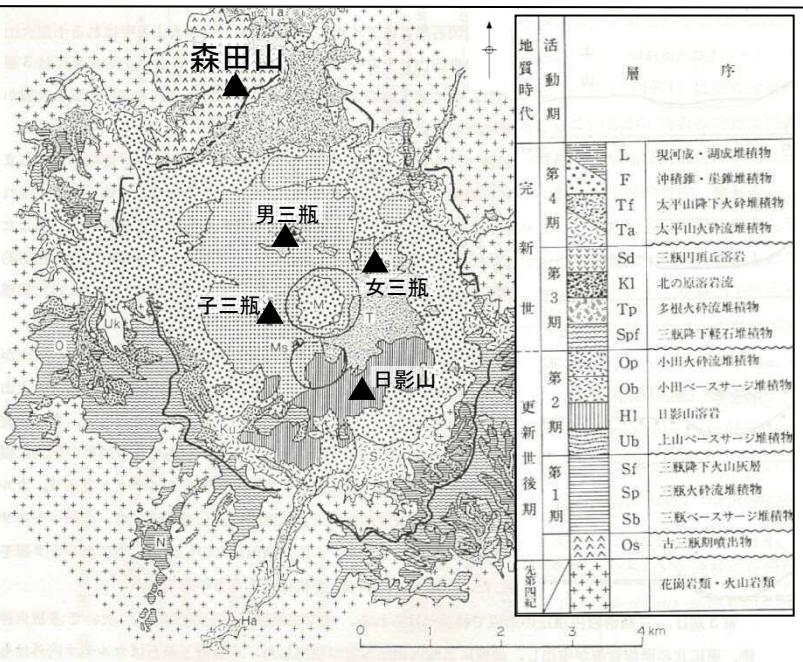
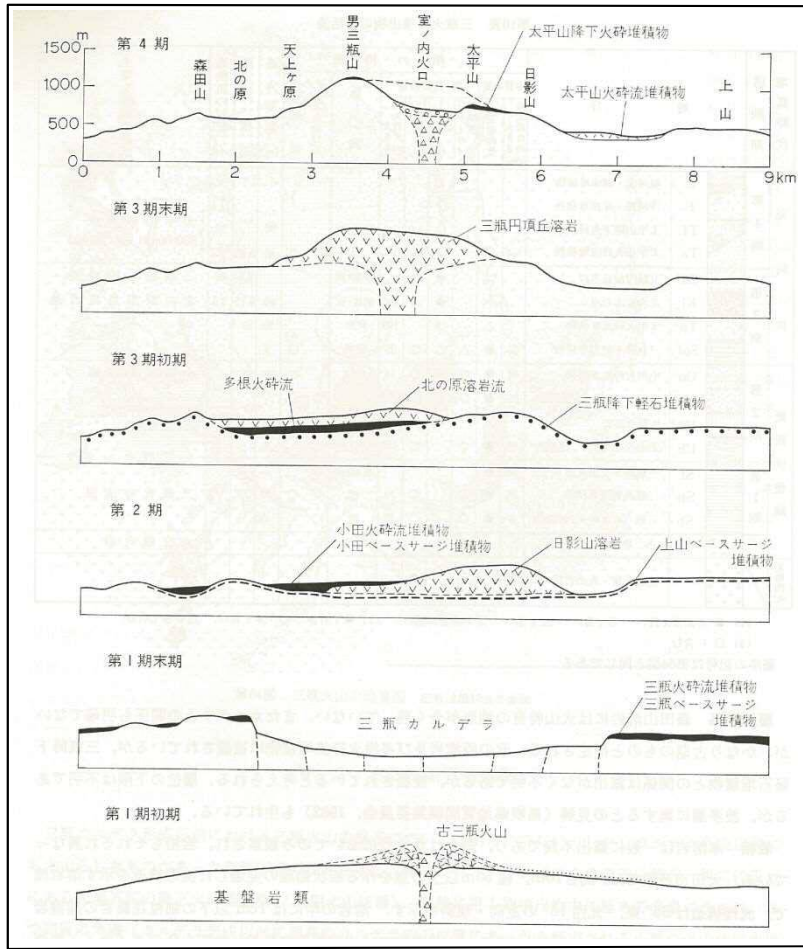
### 主な岩石

デイサイト, 安山岩

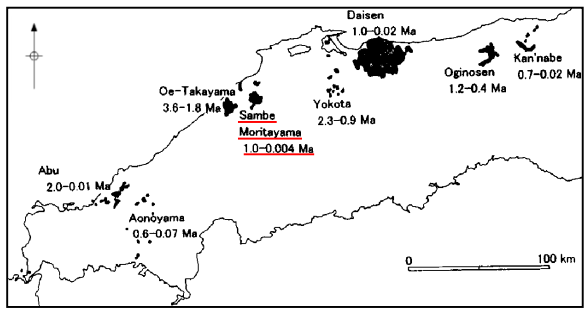
地質調査総合センター(2013)による



# 三瓶山の噴火履歴の検討(三瓶山の概要)



服部ほか(1983)より引用・加筆



松浦・土谷(2003)より引用・加筆

・服部ほか(1983)によると、三瓶火山は活動休止期及び活動様式の顕著な変化に基づいて5群(古三瓶期・第1期—第4期)に大別されている。また、古三瓶期には、小型(三瓶カルデラより小さな底型の)成層火山あるいは単成火山群が存在していた可能性が高いとされ、カルデラ北部の森田山は古三瓶火山の一部とされている。

・松浦・土谷(2003)<sup>(9)</sup>によると、森田山溶岩は更新世前期のハラミヨ・サブクロン(約110万年前)に噴出した角閃石デイサイトの溶岩ドームであり、三瓶火山は山陰地域の鮮新世以降の一般的な火山活動継続期間と同程度の100万年に及ぶ長い活動レンジを持っているとされている。

# 三瓶山の噴火履歴の検討(活動形態の変遷)

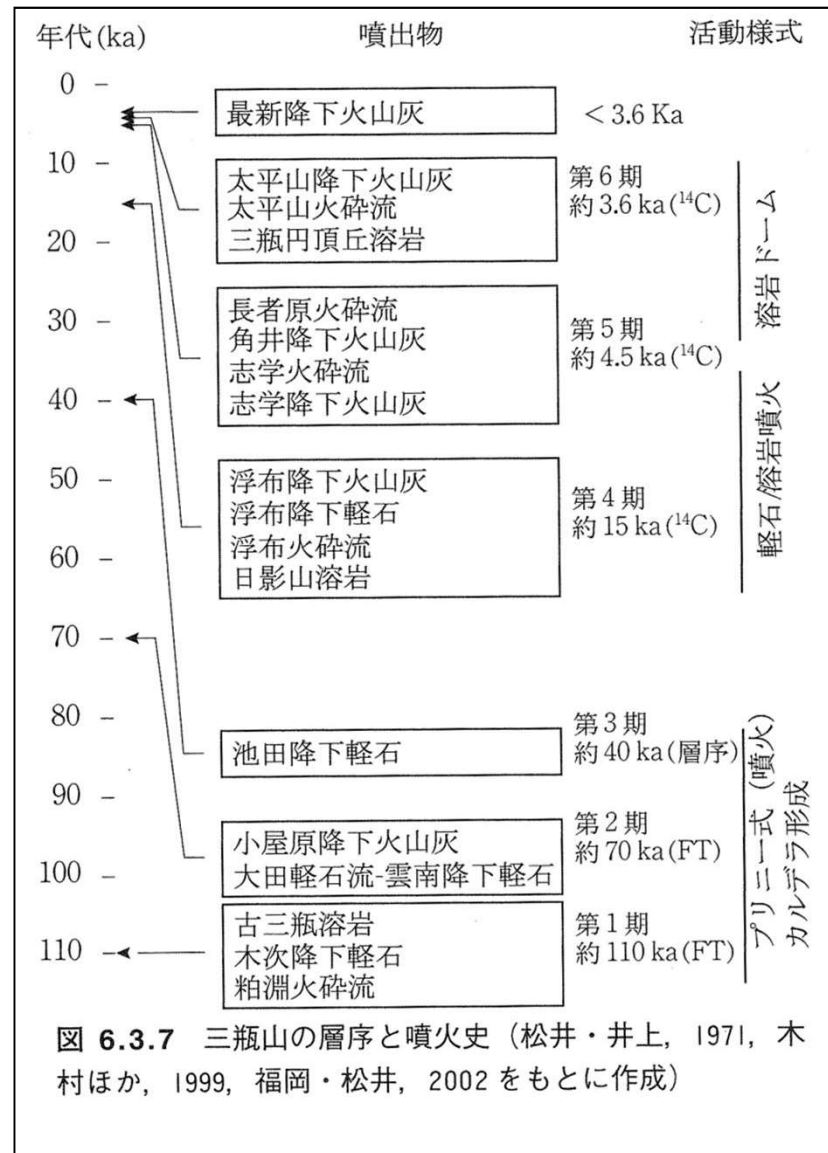


図 6.3.7 三瓶山の層序と噴火史 (松井・井上, 1971, 木村ほか, 1999, 福岡・松井, 2002 をもとに作成)

日本地質学会編(2009)によると、約11万年前の噴火以降は、第1期から第6期に区分(前述の服部ほか(1983)の第2期を更に3つの活動期に細分化)されており、最終噴火が約3,600年前とされている。

さらに、三瓶山の活動は、爆発的軽石噴火が優勢な第1-3期及び溶岩の噴出が優勢な第4-6期の2つに分けられるとしている。

第1期から第3期にかけては、3回のプリニー式の流紋岩質軽石噴火があったとし、これらの爆発的噴火により、現在のカルデラが形成されたとしている。

第4期においてもサブ・プリニー式の噴火が発生しているが、噴出物はデイサイト質(日影山溶岩)に変わり、第5期以降は溶岩ドームを形成する活動へと変化し、爆発性が低下したとされている。

三瓶山は、第4期のサブ・プリニー式噴火により三瓶浮布テフラを噴出して以降は溶岩ドームを形成する活動へと変化し、爆発性が低下しているとされている。

# 三瓶山の噴火履歴の検討(活動形態の変遷)

活動期		古三瓶期		第1期	第2期	第3期	第4期	第5期	第6期	備考
		森田山								
噴出年代		約110 万年前	—	約11 万年前	約7 万年前	約4 万年前	約1.5 万年前	約0.45 万年前	約0.36 万年前	
SiO <sub>2</sub> 含有比	服部ほか (1983)	—	—	73.11	72.14	68.27	63.90	—	65.07 65.88	活動期は日本地質学 会編(2009)により分類
	縫部・藤巻 (1996) <sup>(10)</sup>	—	—	74~76		60~70				
	松元 (1994) <sup>(11)</sup>	—	—	—	—	—	—	—	64.83 ~ 66.92	第6期の三瓶円頂丘 溶岩のみ分析
	松浦・土谷 (2003)	62.98	—	—	—	—	—	—	—	
噴出物の岩質		デイサイ ト質※ <sup>1</sup>	—	流紋岩質			デイサイト質			日本地質学会編 (2009)による
主な活動様式		溶岩ド ーム形成※ <sup>1</sup>	—	プリニー式			サブ・プ リニー式	溶岩ド ーム 形成		日本地質学会編 (2009)による

※1松浦・土谷(2003)による

- ・三瓶山起源の噴出物は、活動開始から時間の経過に伴いSiO<sub>2</sub>含有比、噴出物の岩質、及び活動様式が変化している。
- ・現在(第6期)のSiO<sub>2</sub>含有比、噴出物の岩質及び活動様式は、古三瓶期(森田山の活動期)のそれらに類似しており、爆発的軽石噴火が優勢な第1-3期とは異なる。

# 三瓶山の噴火履歴の検討(最新降下火山灰)

- 日本地質学会編(2009)の「最新降下火山灰(<3.6Ka)」は、松井・井上(1971)より引用されており、これによると三瓶火山の最終期の噴出物として報告している。
- 服部ほか(1983)及び林・三浦(1987)によると、松井・井上(1971)の最新降下火山灰は、それぞれ太平山降下火砕堆積物の最上部及び三瓶太平山降下火山灰の最上部に対比されている。
- 福岡・松井(2002)<sup>(12)</sup>によると、松井・井上(1971)の最新降下火山灰は山頂火山灰堆積物に対比されている。
- 福岡・松井(2002)によると、山頂火山灰堆積物は、これを挟む黒色土の<sup>14</sup>C年代を求め、380±60yBPから1,250±60yBPの間の堆積物とし、有史時代の活動による噴出物の可能性が示唆されているが、同時に、風成の二次堆積物の疑いも指摘されている。

松井・井上(1971) Matsui and Inoue(1971)	服部ほか(1983) Hattori et al.(1983)	林・三浦(1987) Hayashi and Miura(1987)	福岡・松井(2002) This paper	Stage	Geo-Stage	Deposit [Symbol]	<sup>14</sup> C age(yBP) (*:Converted from paleomagnetic age)
最新降下火山灰			I 山頂火山灰堆積物	VIII	VIII	山頂黒色土 [Su-bs] (Summit Black Soil) 山頂火山灰堆積物 [Su-ad] (Summit Ash Deposit)	380±60 <sup>(*)</sup>
大平山火砕流 大平山降下火山灰	太平山降下火砕堆積物 太平山火砕流堆積物	三瓶太平山降下火山灰 三瓶太平山火砕流	伊比谷岩屑なだれ堆積物 G 太平山火砕堆積物	VII	VII	第1黒色土 [1st-bs] (First Black Soil)	1250±60 <sup>(*)</sup> , 2180±60 <sup>(*)</sup>
三瓶円頂丘溶岩 長者原火砕流	三瓶円頂丘溶岩 北の原溶岩流 多根火砕流堆積物	三瓶円頂丘溶岩 三瓶多根火砕流	F 立石岩屑なだれ堆積物 志津見降下火山灰堆積物			伊比谷岩屑なだれ堆積物 [Ib-da] (Ibidani Debris Avalanche Deposit) 太平山火砕堆積物 [Th-pd] (Taheizan Pyroclastic Deposit) 三瓶円頂丘溶岩 [SL] (Sanbu Dome Lava) 立石岩屑なだれ堆積物 [Tt-da] (Tateishi Debris Avalanche Deposit) 志津見降下火山灰堆積物 [St-fa] (Shitsumi Ash Fall Deposit)	3600±75 <sup>(*)</sup> , 3530±100 <sup>(*)</sup> 3710±100 <sup>(*)</sup> , 3710±130 <sup>(*)</sup> *3530±100 <sup>(*)</sup> , 3680±40 <sup>(*)</sup> 3690±60 <sup>(*)</sup> , 3450±150 <sup>(*)</sup>
角井降下火山灰 志学火砕流 志学降下火山灰			E 角井降下火山灰堆積物 志学火砕流堆積物 志学降下火山灰堆積物	VI	VI	第2黒色土 [2nd-bs] (Second Black Soil) 角井降下火山灰堆積物 [S3-fa] (Tsunoji Ash Fall Deposit) 志学火砕流堆積物 [S2-fa] (Shigaku Pyroclastic Flow Deposit) 志学降下火山灰堆積物 [S1-fa] (Shigaku Ash Fall Deposit)	3800±40 <sup>(*)</sup> , 3900±50 <sup>(*)</sup> 4090±290 <sup>(*)</sup> 4480±110 <sup>(*)</sup> , 4780±100 <sup>(*)</sup>
		〈アカホヤ火山灰〉	D 〈K-Ah火山ガラス〉 C 切割降下火山灰堆積物	V	V	第3黒色土 (K-Ahガラス混入) [3rd-bs] (Third Black Soil-K-Ah Glass) 切割降下火山灰堆積物 [K-fa] (Kiriwari Ash Fall Deposit)	5670±70 <sup>(*)</sup> , 6520±60 <sup>(*)</sup> 8960±70 <sup>(*)</sup>
浮布降下火山灰 浮布降下軽石	三瓶降下軽石堆積物	三瓶浮布降下軽石	B 浮布降下火山灰堆積物 緑ヶ丘火砕流堆積物 浮布降下軽石堆積物	IV	IV	第4黒色土 [4th-bs] (Fourth Black Soil) 浮布降下火山灰堆積物 [Uk-fa] (Ukinuno Ash Fall Deposit) 緑ヶ丘火砕流堆積物 [Md-fa] (Midorigaoka Pyroclastic Flow Deposit) 浮布降下軽石堆積物 [Uk-pfa] (Ukinuno Pumice Fall Deposit)	9570±240 <sup>(*)</sup> , 9900±200 <sup>(*)</sup> 10880±70 <sup>(*)</sup>
浮布火砕流 日影山円頂丘溶岩	小田火砕流堆積物 小田ベースサージ堆積物 日影山溶岩	日影山溶岩 三瓶小田火砕流	A 小田火砕流堆積物 小田サージ堆積物 果瀬谷火砕流堆積物 日影山溶岩			志学降下火山灰堆積物 [S2-fa] (Shigaku Pyroclastic Flow Deposit) 志学降下火山灰堆積物 [S1-fa] (Shigaku Ash Fall Deposit)	16000±400 <sup>(*)</sup> 14780±350 <sup>(*)</sup> 16400±190 <sup>(*)</sup>
池田降下軽石 飯南降下火山灰	上山ベースサージ堆積物	三瓶池田降下軽石	池田軽石堆積物	III	III	池田淡色古土壌 (ATガラス混入) [Ik-ps] (Ikeda Paleosol-AT Glass) 池田軽石堆積物 [Ik-pd] (Ikeda Pumice Deposit)	

福岡・松井(2002)より引用・加筆

# 三瓶山の噴火履歴の検討(最新降下火山灰)

- 福岡・松井(2000)<sup>(13)</sup>によると、山頂火山灰堆積物は、男三瓶山頂に不連続に分布するとされている。また、山頂火山灰堆積物は、黒雲母含有率の測定結果から下位にある太平山火砕堆積物の降下火山灰に類似するとされている。
- 福岡・松井(2004)<sup>(14)</sup>によると、仮に、山頂火山灰が新たな噴火による堆積物とするならば、山頂火山灰堆積物は男三瓶山頂以外では見いだされないことから小規模な水蒸気爆発が考えられるとされている。

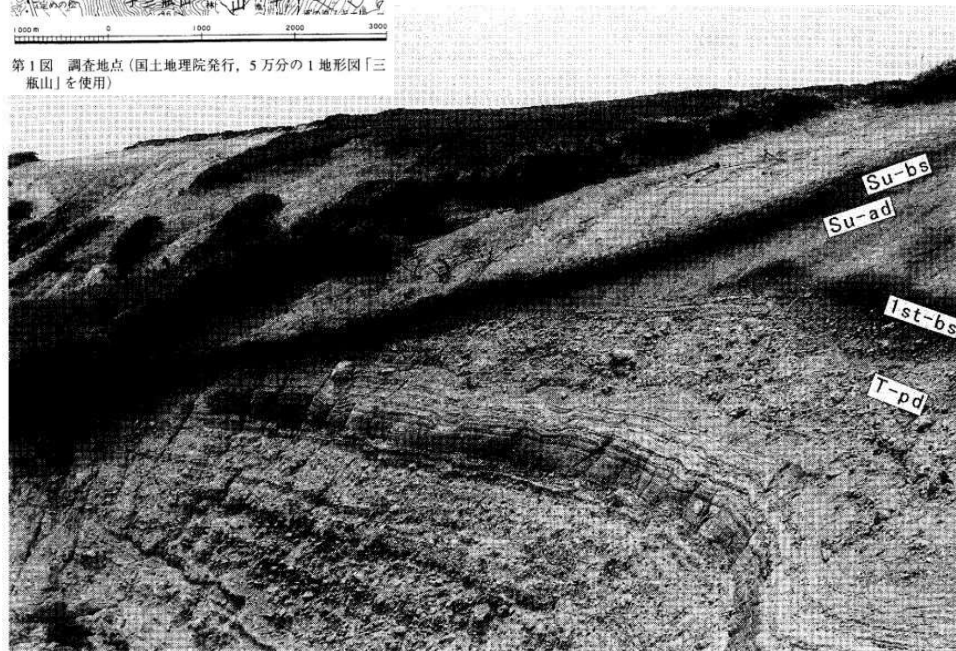


調査地点

【黒雲母含有率(福岡・松井(2000))】

- ・山頂火山灰 2.7~4.8%
- ・太平山火砕堆積物(降下火山灰) 2.0~8.9%

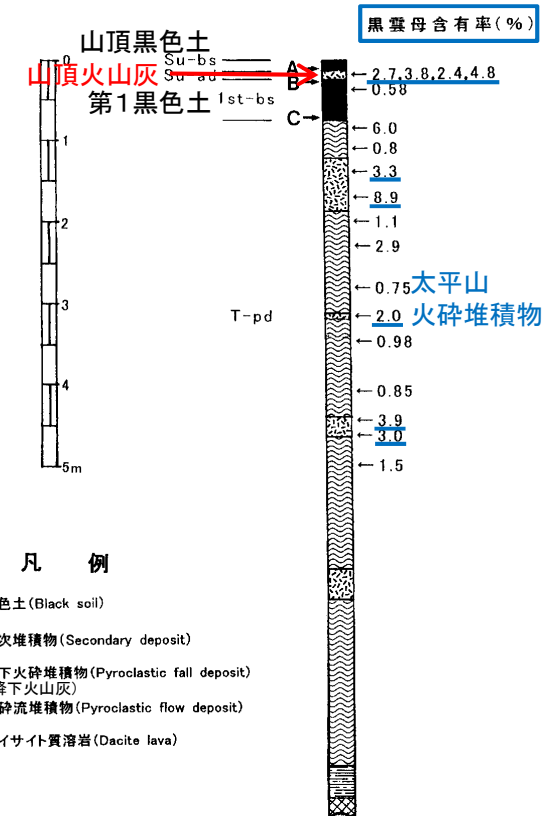
第1図 調査地点(国土地理院発行、5万分の1地形図「三瓶山」を使用)



第2図 男三瓶山頂の露頭

Su-bs: 山頂黒色土, Su-ad: 山頂火山灰, 1st-bs: 第1黒色土, T-pd: 太平山火砕堆積物

福岡・松井(2000)より引用・加筆



第3図 男三瓶山頂の第1図地点の柱状図(堆積物の記号は第2図参照)

A~Cは<sup>14</sup>C年代測定試料採取層準。柱状図右の数値は、黒雲母(125~250 m $\mu$ )含有率と試料採取層準を示す。但し、黒雲母含有率=[(黒雲母の粒数)/(黒雲母の粒数+角閃石類の粒数)] $\times$ 100(%)である。

## 三瓶山の噴火履歴の検討(最新降下火山灰)

- ・ 気象庁(2013)<sup>(15)</sup>によると、福岡・松井(2000, 2004)等を引用し、約3,600年前以降の火山活動としては、1,400~1,300年前に水蒸気噴火の可能性があるとされている。
- ・ なお、有史以降の火山活動については、「記録に残る火山活動はない。」とされている。

### 噴火活動史

#### ・ 過去 1 万年間の噴火活動

約 1 万年前以降には、約 4500 年前、約 3600 年前、それ以降で時期不詳の少なくとも 3 回の火山活動があったと推定されている。これらの火山活動の噴出物は主にデイサイトで、降下火山灰、火砕流、溶岩の噴出、火砕丘の形成、火山泥流の発生などが知られている。特に火砕流および火山泥流は遠方にまで到達した実績がある。

噴火年代	噴火場所	噴火様式	主な現象・マグマ噴出量
13←→12.9ka <sup>2,11</sup>	三瓶山山頂近辺 (詳細位置不明) <sup>11,13</sup>	マグマ噴火 <sup>11,13</sup>	火砕物降下。
5.6←→5.5ka <sup>13</sup>	三瓶山山頂近辺 (詳細位置不明) <sup>2,11,13</sup>	マグマ噴火 <sup>2,11,13</sup>	火砕物降下→火砕流→火砕物降下、火砕サージ。
3.87ka <sup>6</sup>	三瓶山山頂付近 <sup>2,3,9,11,12,13</sup>	マグマ噴火→(山体崩壊)→マグマ噴火、(山体崩壊) <sup>2,3,4,7,9,11,12,13,14</sup>	志津見火砕物降下→三瓶溶岩ドーム、立石岩屑なだれ→太平山火砕流、火砕サージ、火砕物降下、伊比谷岩屑なだれ。 マグマ噴出量は2.6 DREkm <sup>3</sup> 。(VEI4) <sup>3</sup>
1.4←→1.3ka <sup>8</sup>	三瓶山山頂近辺 (詳細位置不明) <sup>8,11</sup>	水蒸気噴火? <sup>2,8,11,13</sup>	火砕物降下。 <b>福岡・松井(2004)等を引用</b>

※噴火イベントの年代、噴火場所、噴火様式等については、(独)産業技術総合研究所の活火山データベース(工藤・星住, 2006-)を参考とした。なお、年代は暦年代で示す。表中の「ka」は「1000 年前」を意味し、西暦 2000 年を 0 ka として示した。

A←→B : A 年から B 年までの間のどこかで起こった噴火イベント

福岡・松井(2000)を引用し、山頂火山灰堆積物の下位にある第1黒色土の<sup>14</sup>C年代(1,250±60yBP)より、同位体補正, 暦年校正を考慮して設定

#### ・ 有史以降の火山活動

記録に残る火山活動はない。



## 三瓶山の噴火履歴の検討(最新降下火山灰)

### 【文献調査結果】

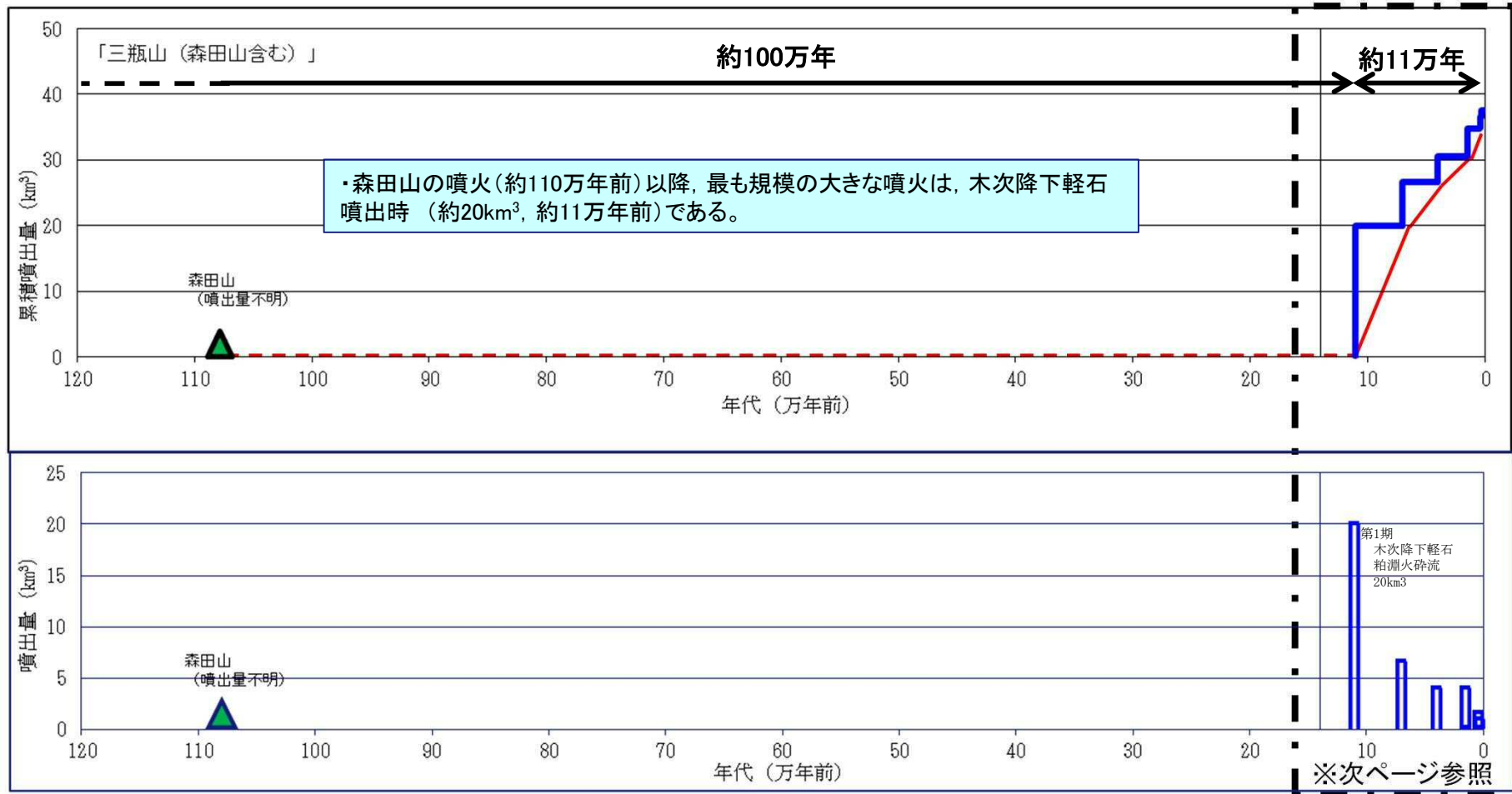
- ・松井・井上(1971)及び福岡・松井(2002)によると、三瓶山の最終期の噴出物として、「最新降下火山灰(山頂火山灰堆積物)」を報告されている。一方、服部ほか(1983)及び林・三浦(1987)によると、約3,600年前に噴出した「三瓶太平山降下火山灰(太平山降下火砕堆積物)の最上部」に対比されている。
- ・福岡・松井(2000, 2002)によると、最新降下火山灰(山頂火山灰堆積物)は、黒雲母含有率の測定結果から下位にある太平山降下火山灰に類似するとし、風成の二次堆積物の可能性が指摘されている。
- ・福岡・松井(2004)によると、仮に、山頂火山灰が新たな噴火による堆積物とするならば、山頂火山灰堆積物は男三瓶山頂以外では見いだされないことから小規模な水蒸気爆発が考えられるとされている。

### 【気象庁による評価結果】

- ・気象庁の三瓶山に関する最近の報告(気象庁, 2013)によると、福岡・松井(2000, 2004)等を引用し、約3,600年前以降の火山活動としては、1,400~1,300年前に水蒸気噴火の可能性があるとされているが、有史以降の活動はないとされている。

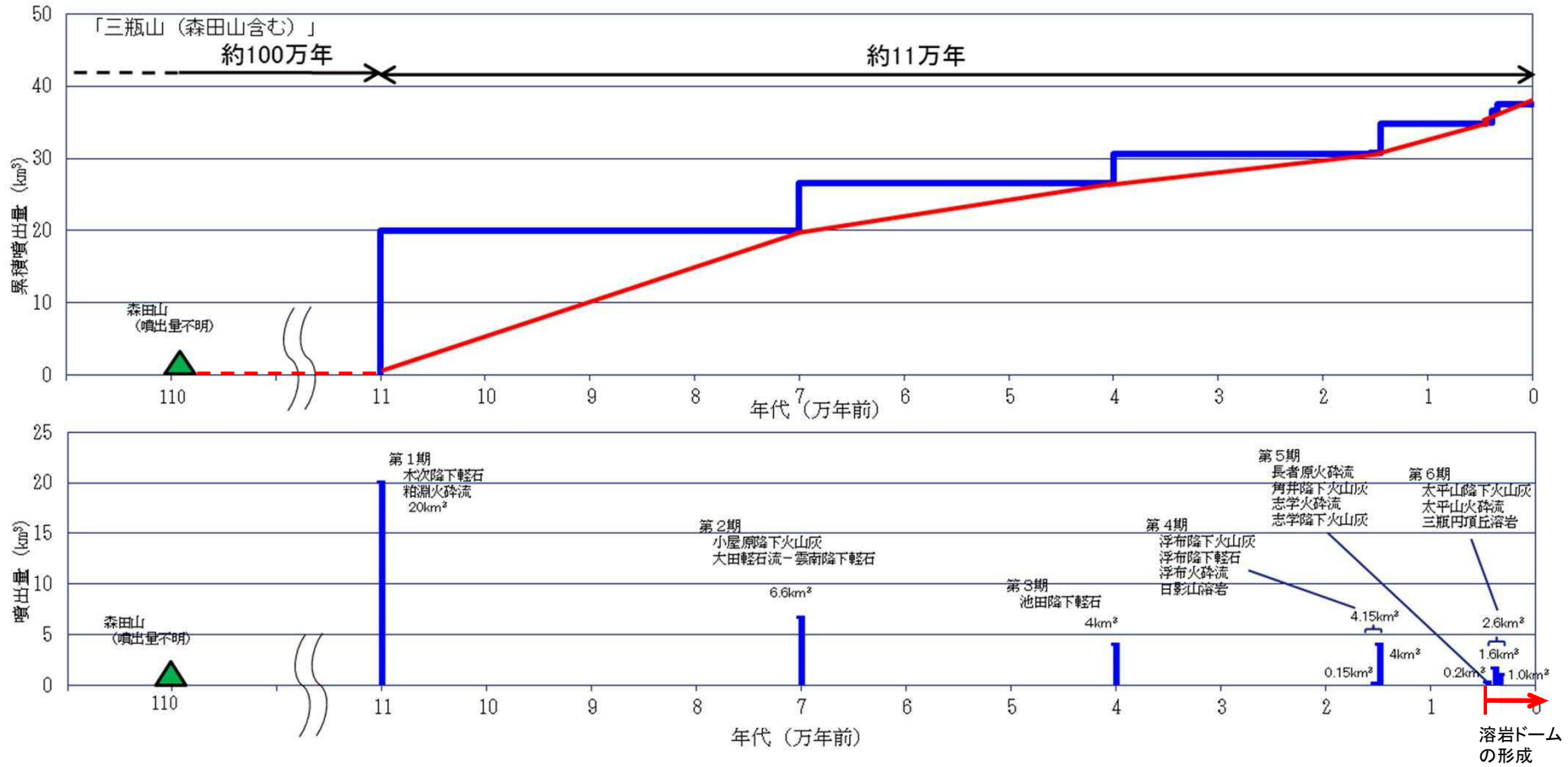
- ・最新降下火山灰は、福岡・松井(2000)による黒雲母含有率の測定結果等に基づくと約3,600年前に噴出した太平山降下火山灰の二次堆積物であると考えられる。
- ・有史以降の火山活動はないとされているが、新たな噴火を仮定しても、最新降下火山灰の分布範囲は男三瓶山頂に限定されていることから、小規模な水蒸気爆発とされている。
- ・以上のことから、最新降下火山灰噴出時の火山活動については、約3,600年前の三瓶太平山降下火山灰噴出時の活動として取り扱う。

# 三瓶山の噴火履歴の検討(階段ダイアグラム)



・服部ほか(1983)によると, 森田山の噴火(約110万年前)から木次降下軽石噴出(約11万年前)までの期間は, 三瓶カルデラより小型の成層火山あるいは単成火山群が存在していた可能性が高いとされている。また, この期間に広域火山灰を降下させる規模の噴火が起こったという知見は得られていない。

# 三瓶山の噴火履歴の検討(階段ダイヤグラム)



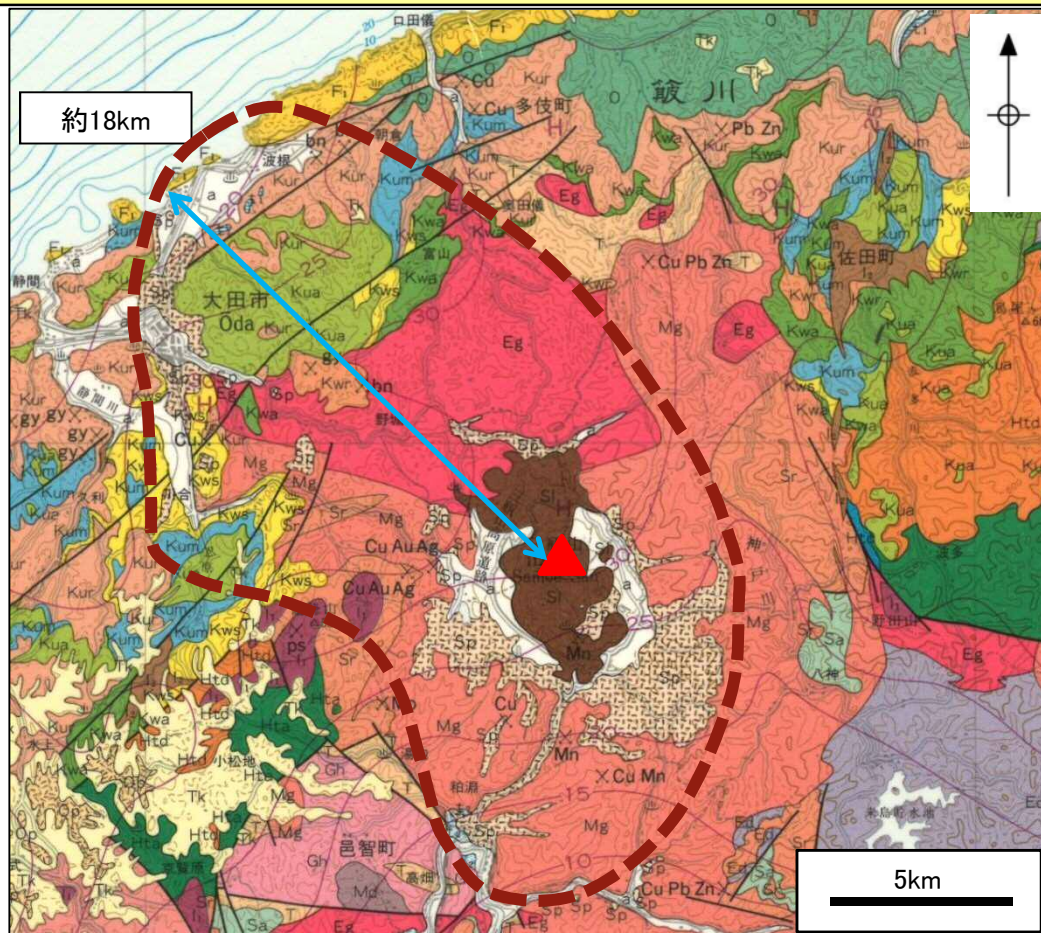
(町田・新井(2011), 第四紀火山カタログ編集委員会編(1999)<sup>(16)</sup>, 須藤ほか(2007)<sup>(17)</sup>に基づき作成)

- ・森田山の噴火以降において、最も規模の大きな噴火は木次降下軽石(SK)噴出時である。
- ・約110万年前以降、噴火規模の最も大きな木次降下軽石の噴出までの期間(約100万年)は、木次降下軽石の噴出からの経過時間(約11万年)に比べ十分に長いことから、原子力発電所の運用期間中には、木次降下軽石のような広域火山灰を降下させる規模の噴火を起こす可能性は極めて低いと考えられる。
- ・一方、それ以外の噴火については、木次降下軽石以降においても繰り返し発生している。

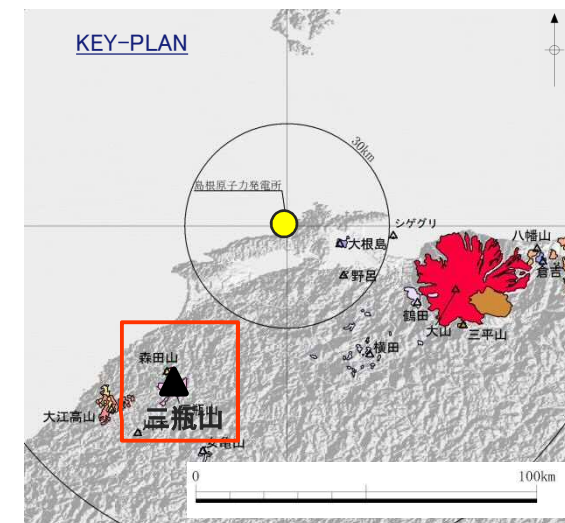
## 2.2 巨大噴火に関する評価 三瓶山の巨大噴火に関する評価

- ・林・三浦(1987)によると、第2期の大田軽石流を発生させた噴火によって直径約5kmのカルデラが形成されたとされている。
- ・鹿野ほか(1988)<sup>(18)</sup>によると、三瓶山の火砕流堆積物の最大到達距離は約18kmとされている。
- ・第2期の大田軽石流噴出時の噴火規模は6.6km<sup>3</sup>である。

三瓶山のカルデラ形成期を含む一連の噴火は、火砕流堆積物の分布範囲は限定的であり、その噴火規模もVEI5規模であることから、原子力発電所の火山影響評価ガイド(一部改正)における「設計対応不可能な火山事象を伴う火山活動の評価」の巨大噴火※には該当しない。



※巨大噴火: 地下のマグマが一気に地上に噴出し、大量の火砕流となるような噴火であり、その規模として噴出物の量が数10km<sup>3</sup>程度を超えるようなもの



### 凡例

三瓶火山噴出物 Products of Sambue Volcano	角閃石黒雲母サイト火砕堆積物 Hornblende-biotite dacite pyroclastic deposits
	角閃石黒雲母サイト溶岩 Hornblende-biotite dacite lava

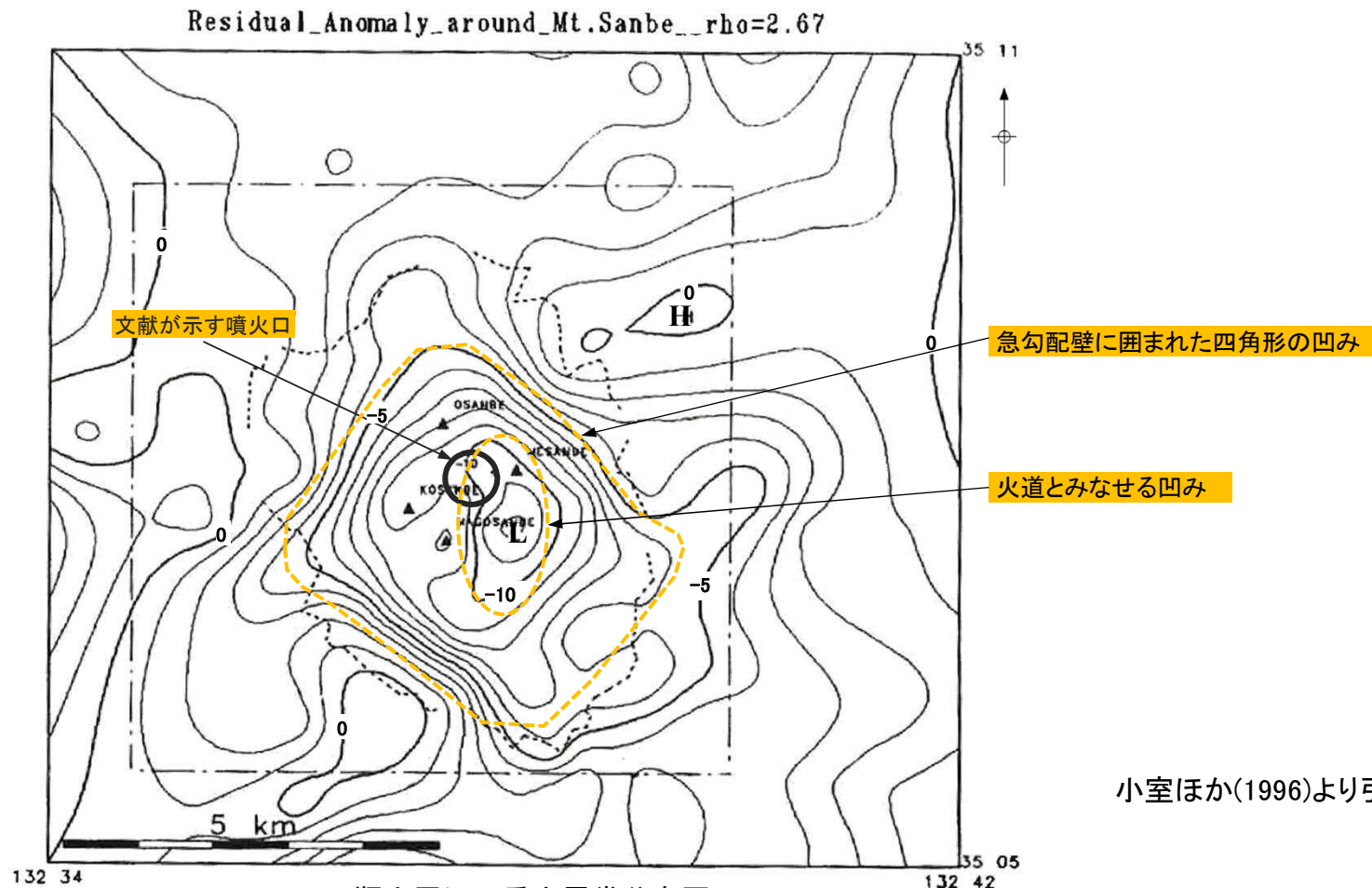
鹿野ほか(1988) より抜粋・加筆

# 三瓶山の巨大噴火に関する評価



## 三瓶山に関する地球物理学的調査(重力構造)

小室ほか(1996)<sup>(19)</sup>によると、三瓶山は中心部に急勾配壁に囲まれた四角形の凹みと、その北西及び南東側に浅い平坦部が棚状に広がるというカルデラ基盤の起伏が推定され、低重力異常型のカルデラであると結論することができる。また、現在の噴火口の東-南東に、火道とみなせる凹みが認められる。なお、火道に相当するような凹みはこれ以外には観察されないとしている。



小室ほか(1996)より引用・加筆

三瓶山周辺の重力異常分布図

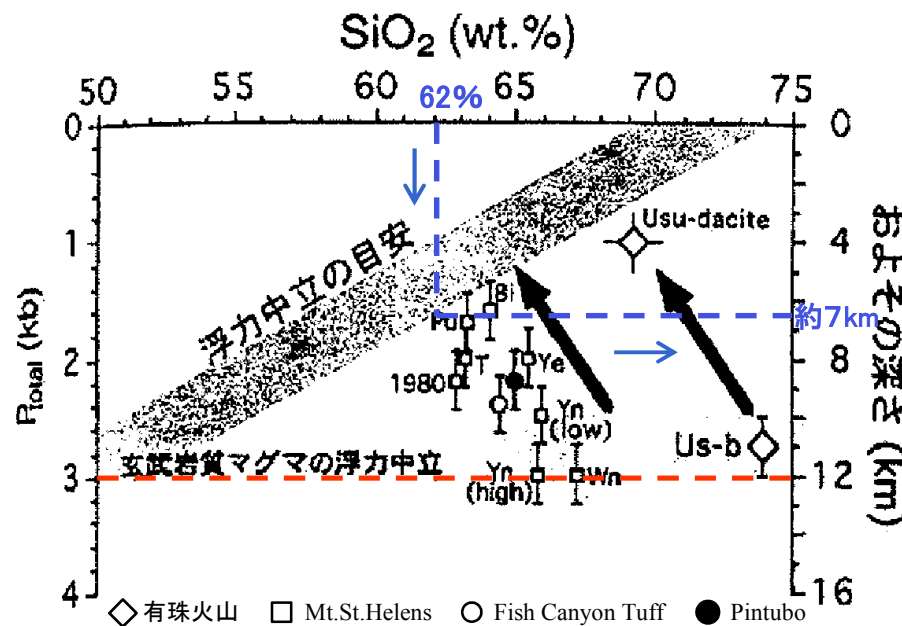
# 三瓶山に関する地球物理学的調査(マグマ溜まりの評価方法)

東宮(1997)<sup>(20)</sup>によると、マグマ溜まりは、マグマの密度と地殻の密度の釣り合う深さ(浮力中立点)よりも浅部には形成されていないとし、幾つかの火山の事例から約6~約12kmの深さに形成されているとしている。

マグマの種類と性質

マグマ	玄武岩質	安山岩質	デイサイト質	流紋岩質
化学組成	マフィック ←		→ フェルシック	
SiO <sub>2</sub> (重量%)	45 ~ 53.5	53.5 ~ 62	62 ~ 70	70 以上
密度 (kg/m <sup>3</sup> )	約 2700	約 2400	約 2300	約 2200
粘性率 (Pa.s)	10 <sup>2</sup> ~ 10 <sup>4</sup>	10 <sup>4</sup> ~ 10 <sup>7</sup>	~ 10 <sup>9</sup>	~ 10 <sup>11</sup>
噴出温度 (°C)	1000 ~ 1200	950 ~ 1200	800 ~ 1100	700 ~ 900
噴出物	溶岩	火砕物, 溶岩	火砕物, 溶岩	火砕物, 溶岩
固形噴出物の色	黒~灰	灰	灰~茶	褐色~白
主な噴出形態	溶岩流, 溶岩噴泉	噴煙, 噴石, 溶岩流	噴煙, 溶岩流, 溶岩ドーム	噴煙, 溶岩流, 溶岩ドーム

下鶴ほか編(2011)<sup>(21)</sup>より引用



マグマの組成(SiO<sub>2</sub>)と深度の関係  
東宮(1997)より引用・加筆

- ・玄武岩質マグマは、**浮力中立点**である**約12km**の深さにマグマ溜まりを形成する。
- ・三瓶山・大山を構成する地質は**安山岩~デイサイト**とされており、仮に同質のマグマ溜まりが形成されるとすれば、SiO<sub>2</sub>の重量%は62%程度であり、マグマ溜まりは**浮力中立点の約7km**の深さに定置すると推定される。

三瓶山・大山を構成する安山岩~デイサイト質マグマ溜まりの浮力中立点は約7kmと推定されるが、少なくとも玄武岩質マグマの浮力中立点の約12kmより浅部にマグマ溜まりを示す兆候がなければ、運用期間中に噴火の発生する可能性は極めて低い。

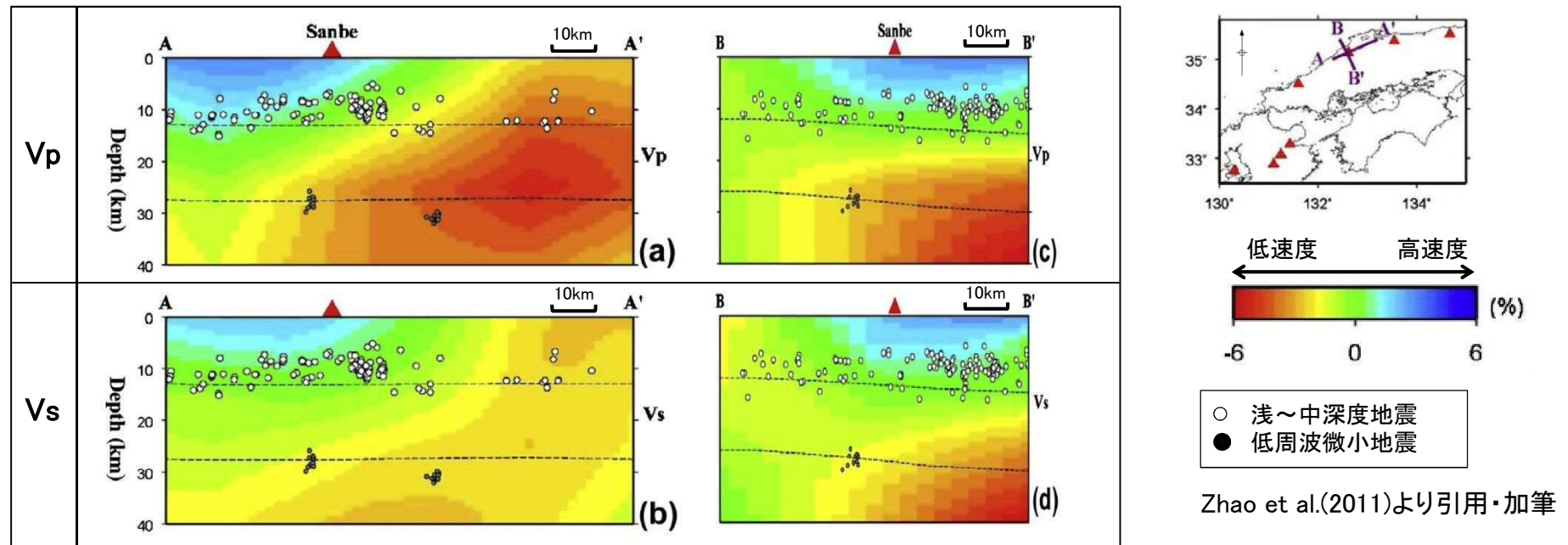
## 三瓶山に関する地球物理学的調査(地震活動, 地震波速度構造)

### 【地震活動, 地震波速度構造に関する一般論としての文献】

- ・森田・大湊(2005)<sup>(22)</sup>によると, 地震の活動度は, 一般に火山活動が活発になると火山周辺において高まるとされており, 流体の移動が示唆される地震(低周波地震等)が発生するとされている。
- ・浅森・梅田(2005)<sup>(23)</sup>によると, 地震波トモグラフィ解析から得られる地震波速度構造は, 岩石の種類, 流体の飽和度, 温度, 圧力等の変化を反映しており, 低速度領域には, 流体や高温異常の存在を示唆するとされている。

### 【三瓶山地下深部の地震活動, 地震波速度構造に関する文献】

- ・Zhao et al.(2011)<sup>(24)</sup>は, 三瓶山の北東～南東側の地下深部に広がる低速度層と, 低周波微小地震の存在から, マグマ溜まりの存在する可能性を示唆している。



三瓶山の北東～南東側の地下深部に広がる低速度層と低周波微小地震の存在から, マグマ溜まりの存在する可能性を示唆しているが, 仮にマグマ溜まりとしても, これらの低速度層は20km以深に位置しており, 東宮(1997)による玄武岩質マグマの浮力中立点の深度12kmよりも深い位置にあると推察されることから, 原子力発電所の運用期間中には, 木次降下軽石のような広域火山灰を降下させる規模の噴火を起こす可能性は極めて低いと考えられる。



## 2.4 火山噴火予知連絡会等による評価

### 三瓶山の火山噴火予知連絡会による評価(中長期的な火山活動評価)

#### 中長期的な噴火の可能性に備えた

#### 監視・観測体制の充実等の必要性の評価について

##### 1. 目的

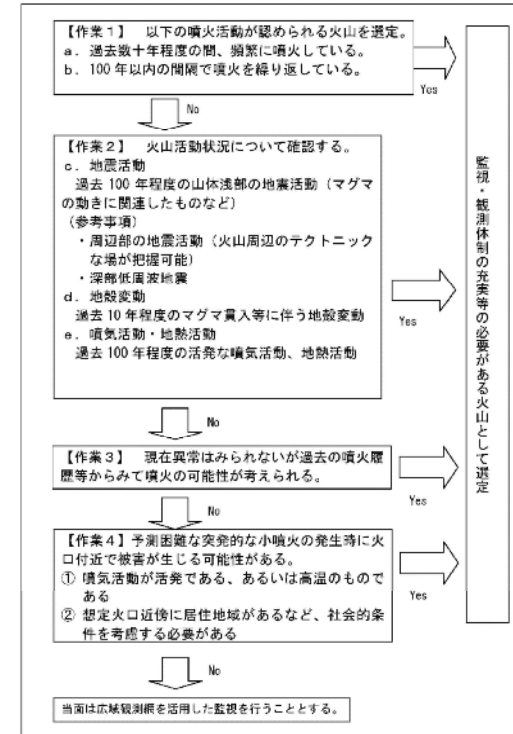
気象庁は全国の活火山について、火山防災を目的として監視を行なっている。それらのうち、活発な火山活動を繰り返しているなど、必要と考えられる火山に対して、近傍に地震計等を設置し連続監視を行ってきた。また、近年は多項目観測の実施や、機動観測により連続監視火山を増やすなど火山監視の強化を進めた。

今後、さらに火山防災対策の充実を図るために、中長期的な噴火の可能性を評価して、監視・観測体制の充実等が必要な火山を選定することとした。中長期的な期間については、概ね100年程度とし、噴火の可能性を検討することとする。噴火の時期や規模を定量的に求めることは現在の火山学の知見では困難であるが、過去の噴火履歴と現在観測されている火山活動の状況から、噴火の可能性を検討する。その上で、噴火による周辺の社会的な影響についても考慮することとする。

また、選定された火山については、具体的な監視・観測体制を検討に資するため、噴火準備過程や、噴火プロセス等に関する知見に基づいた整理を行うこととする。

火山噴火予知連絡会(2009)より引用・加筆

監視・観測体制の充実等の必要な火山の選定手順(図1)



火山番号	火山名	気象庁観測体制	緊急減災着手年度	アンケート順位		整備必要性理由	過去1万年間の噴火履歴(VEI) (VEIは産総研1万年噴火イベントデータ集による)		噴火間隔				最新噴火開始からの経過年数	VEI2以上マグマ噴火活動履歴による今後100年間程度の長期評価 ○:活動期 ×:休止期	山体浅部地震活動 ・過去約100年間を対象 ・火山性地震多発 ・微動発生	火山性地殻変動 ・過去約10年間を対象 D:深部ダイク貫入 S:山体浅部膨張	噴気活動・熱活動 ・過去約100年間を対象 ・沸点以上の高温噴気 ・熱泥噴出(数m以上) ・噴気高度100m以上	【参考事項】 ・山体付近(10km以内)の深部低層波地震	【参考事項】 ・山体周辺の地震活動	社会的影響 ・活動火口から500m以内の居住人口 ◎:100人以上 ○:10人以上 ・活動火口から1km以内 ◇:観光施設、観光道路あり
				マグマ	水蒸気		マグマ噴火(▲)	水蒸気噴火(△)	噴火種類	平均間隔	標準偏差	データ数								
77	三瓶山	×	×	59	68	×	約4500年前 約3600年前以降1回	不明					約3600年	×	不明	不明	なし	南西約10kmにわずかにあり	周辺の地震活動活発	◇:火口付近にスキー場

火山噴火予知連絡会(2009)<sup>(25)</sup>は、火山防災対策の充実を図るために、中長期的な噴火の可能性を評価して、監視・観測体制の充実等が必要な火山を選定しているが、三瓶山については、VEI2以上マグマ噴火活動履歴による今後100年間程度の長期評価が「休止期」であること等から、当該対象火山として選定していない。

なお、今後100年間程度の長期評価が困難な火山は「不明」として整理されている。(阿蘇山, 桜島他)  
また、監視・観測体制の充実等が必要な火山としては、御嶽山, 口永良部島, 箱根山等がある。

## 御嶽山の噴火災害を踏まえた活火山の観測体制の強化に関する緊急提言

平成 26 年 11 月  
火山観測体制等に関する検討会

### ○ はじめに

平成 26 年 9 月 27 日に発生した御嶽山の水蒸気噴火は、死者 57 名および行方不明者 6 名（平成 26 年 10 月 28 日時点）を数え、平成 19 年に気象庁が噴火警報の発表を開始してから初めて犠牲者を出す噴火であった。また、この噴火は、近代的な火山観測が始まって以降では、1926 年十勝岳噴火につぐ数の人命を失う災害であった。

火山観測体制等に関する検討会では、これまで調査研究の推進及びその成果を踏まえた監視体制のあり方、観測データの流通および共有化体制、各機関の役割分担と観測網整備の優先度を踏まえた火山毎の具体的な観測網のあり方について検討を行ってきた。また、今後の課題として火山監視に係る研究の進展等も踏まえて必要な場合には適切な改善策を講じることを指摘してきたことから、今回の御嶽山で起こった災害を踏まえ、監視及び火山活動に関する情報発表に必要な観測体制について検討し、以下のように緊急提言をとりまとめた。

火山噴火予知連絡会(2014)<sup>(26)</sup>より引用・加筆

平成26年9月の御嶽山の噴火を受け、火山噴火予知連絡会から出された「御嶽山の噴火災害を踏まえた活火山の観測体制強化に関する緊急提言」(気象庁 火山観測体制等に関する検討会, 平成26年11月)においても、三瓶山については常時監視が必要な火山の見直し対象とはなっていない。

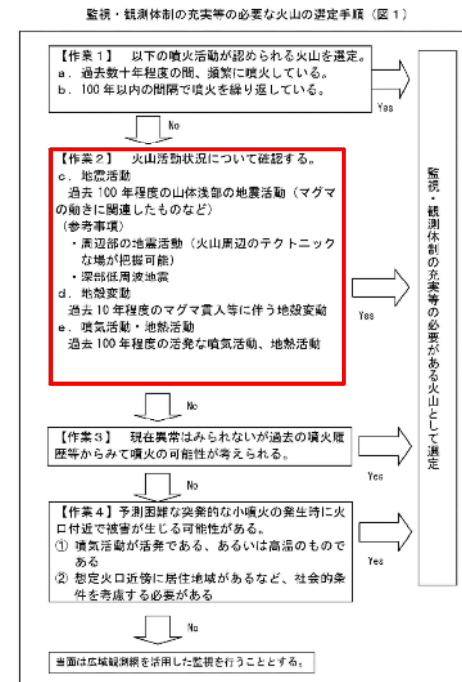
### ○ 活火山の観測体制の強化に関する緊急提言

#### 3. 常時監視が必要な火山の見直し

常時監視が必要な火山すなわち常時観測火山は、平成 21 年に開催された火山噴火予知連絡会火山活動評価検討会において、それまでの知見に基づき、①近年、噴火活動を繰り返している火山、②過去 100 年程度以内に火山活動の高まりのある火山、③現在異常は見られないが過去の噴火履歴等からみて噴火の可能性が考えられる火山、④予測困難な突発的な小噴火の発生時に火口付近で被害が生じる可能性がある火山として 47 火山が選定された。

平成 21 年の選定以降、②に該当する顕著な異常現象が見られた以下の火山があり、常時観測火山への追加を検討すべきである。

- ・ 八甲田山 平成 25 年に山頂直下の地震の増加や地殻変動を観測
- ・ 十和田 平成 26 年 1 月に震源の浅い地震の増加を観測
- ・ 弥陀ヶ原 平成 24 年 6 月以降、噴気域の拡大や噴気温度の上昇を観測



## 三瓶山 (2019年11月20日現在)

火山活動に特段の変化はなく、静穏に経過しており、噴火の兆候は認められない。  
噴火予報(活火山であることに留意)の予報事項に変更はない。

### ○ 概況 (2019年1月~11月20日)

#### ・地震活動 (図3)

2018年4月9日01時32分に三瓶山の北西約7km、深さ約12kmでM6.1の地震が発生し、最大深度5強を観測した。この地震の震源付近で地震活動が活発になったが、地震活動は徐々に低下している。

#### ・噴気等の状況

山頂部の室内火口には鳥地獄と呼ばれる噴気孔があるが、噴気異常等に関する情報は無い。

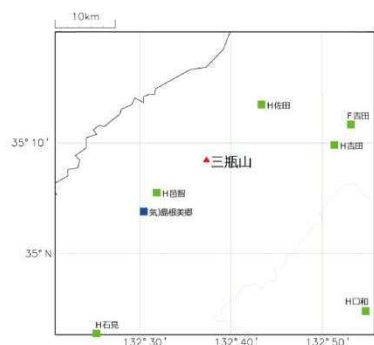


図1 三瓶山周辺の地震観測点  
■(H): 防災科研観測点 ■(気): 気象庁観測点  
この図の作成にあたっては、国土地理院発行の数値地図25000を使用した。

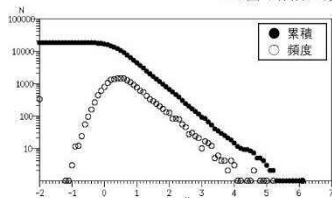


図2 三瓶山  
一元化震源によるマグニチュード別度数分布図  
(図3-①震央分布図の範囲内)

この資料は気象庁のほか、国立研究開発法人防災科学技術研究所のデータも利用して作成。

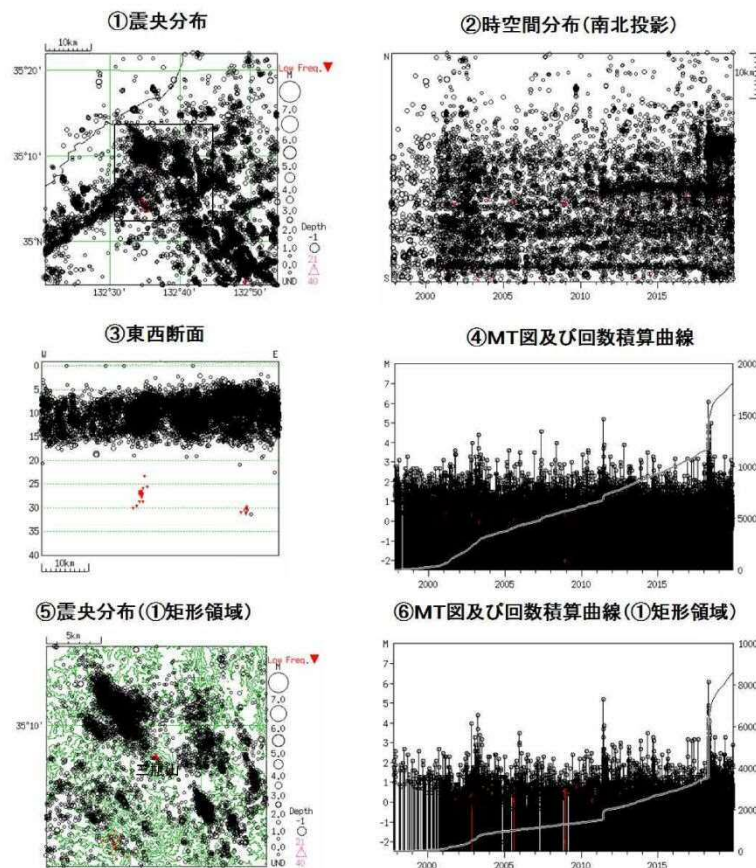


図3 三瓶山周辺の地震活動(1997年10月1日~2019年11月20日)  
注) 2002年10月以降、Hi-net追加により検知力向上  
赤は深部低周波地震を示す。  
表示している震源には、震源決定時の計算誤差の大きなものが含まれていることがある。  
この図の作成にあたっては、国土地理院発行の数値地図50mメッシュ(標高)を使用した。

火山噴火予知連絡会(2019)より引用・加筆

火山噴火予知連絡会(2019)<sup>(27)</sup>によると、火山活動に特段の変化はなく、静穏に経過しており、噴火の兆候は認められないとされている(平成31年1月~令和元年11月)。

火山活動解説資料(平成24年12月)

## 三瓶山の火山活動解説資料(平成24年12月)

気象庁地震火山部  
火山監視・情報センター  
大阪管区気象台地震火山課

火山活動に特段の変化はなく、火口周辺に影響を及ぼす噴火の兆候は認められません。  
平成19年12月1日に噴火予報(平常)を発表しました。その後、予報警報事項に変更はありません。

### ○ 活動概況

#### ・ 噴気など表面現象の状況(図2~6)

気象庁では2012年12月10日から14日に、三瓶山周辺で現地調査(目視観測、地表面温度分布<sup>1)</sup>観測)を実施しました。山頂部の室内火口には鳥地獄と呼ばれる噴気孔がありますが、子三瓶山中腹からの観測では噴気や地熱域は確認できませんでした。その他、山頂火口周辺及び山腹に噴気及び地熱域は認められませんでした。

#### ・ 地震や微動の発生状況(図1、図7\*)

気象庁では、三瓶山近傍の地震活動に関する基礎的な資料を得るため、2012年12月12日に三瓶自然館サヒメル<sup>1)</sup>の協力を得て同施設内に地震計を臨時に設置しました。観測開始以降、三瓶山近傍を震源とする火山性地震は観測されず、地震活動は静穏に経過しました。また、火山性微動も観測されませんでした。

1) 赤外熱映像装置は、物体が放射する赤外線を感知して温度を測定する機器で、熱源から離れた場所から測定することができる利点がありますが、測定距離や大気等の影響で実際の熱源の温度よりも低く測定される場合があります。

気象庁(2012)より引用・加筆

火山活動解説資料(平成24年12月)

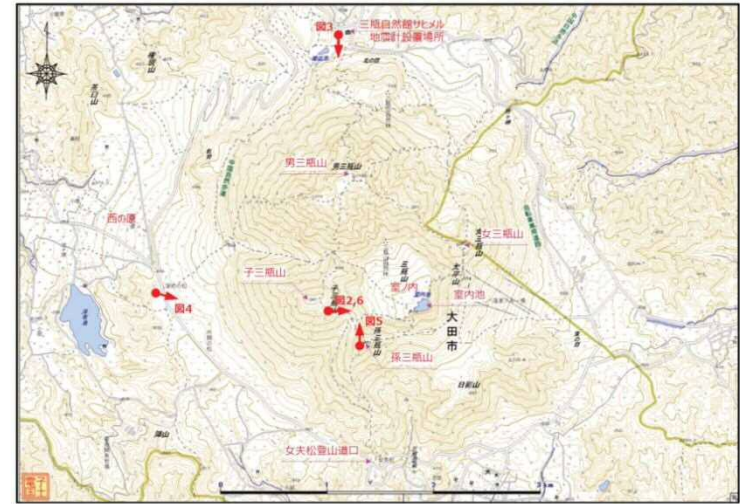


図1 三瓶山 付近地図 赤矢印は各図撮影場所・方向

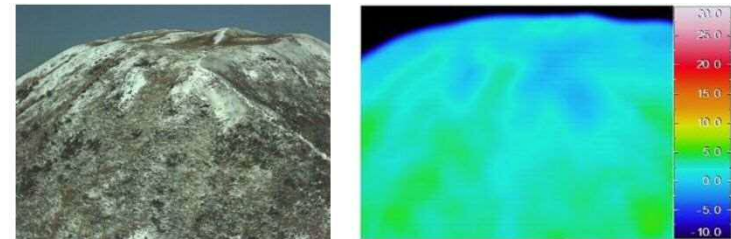


図5 三瓶山 子三瓶山南斜面地表面温度分布(12月13日11時40分 孫三瓶山より)

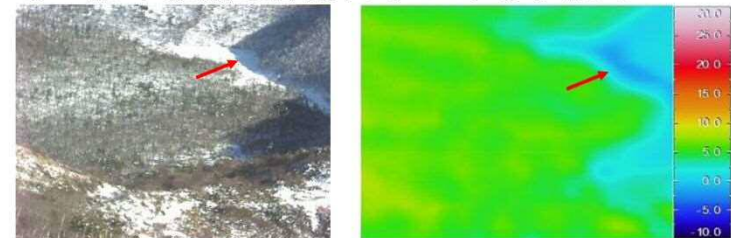


図6 三瓶山 室内地表面温度分布(赤矢印部分は室内池)(12月13日13時10分 子三瓶山中腹より)

気象庁(2012)<sup>(28)</sup>によると、噴気及び地熱域の観測結果から、火口周辺に影響を及ぼす噴火の兆候は認められないとされている(平成24年12月)。

# 三瓶山の火山噴火予測連絡会による評価(GNSS連続観測結果, SAR干渉解析結果)

第145回火山噴火予測連絡会

国土地理院

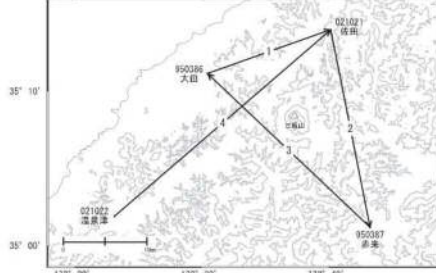
第145回火山噴火予測連絡会

国土地理院

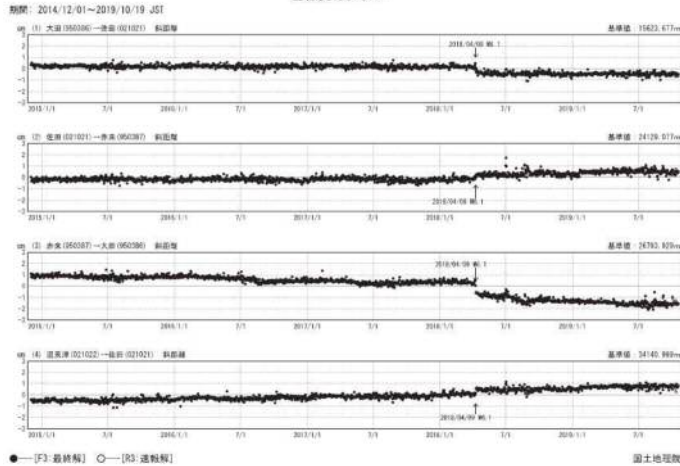
## 三瓶山

GNSS連続観測結果には特段の変化は見られません。

三瓶山周辺GEONET(電子基準点等)による連続観測基線図



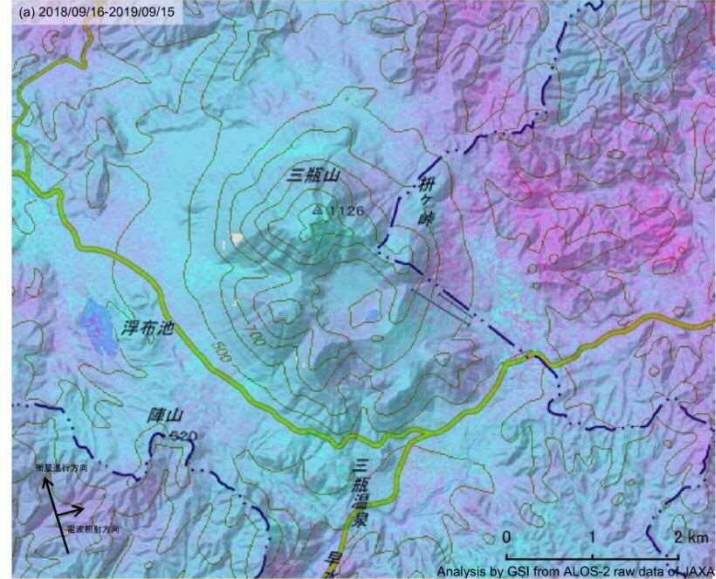
基線変化グラフ



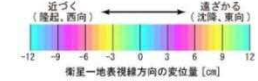
●—[R3-最終解] ○—[R3-連観解]  
 ※[R3-連観解]は暫定値、電子基準点の保守等による変動は補正済み  
 国土地理院 三瓶山

## 三瓶山のSAR干渉解析結果について

判読) ノイズレベルを超える変動は見られません。



衛星名	(a) ALOS-2
観測日時	2018/09/16 2019/09/15 0:05 頃 (364 日間)
衛星進行方向	北行
電波照射方向	右
観測モード*	H-H
入射角	36.8°
偏波	HH
垂直基線長	+89m



火山噴火予測連絡会(2019)より引用・加筆

火山噴火予測連絡会(2019)によると、GNSS連続観測結果には特段の変化は見られないとされている(平成26年12月～令和元年10月)。また、SAR干渉解析結果では、ノイズレベルを超える変動は見られないとされている(平成31年9月～令和元年9月)。

火山噴火予測連絡会等の中長期的な火山活動評価及び観測結果によると、火山活動に特段の変化はなく、静穏に経過しており、噴火の兆候は認められないとされていることから、原子力発電所の運用期間中には、木次降下軽石のような広域火山灰を降下させる規模の噴火を起こす可能性は極めて低いと考えられる。

## 三瓶山の噴火規模の想定(まとめ)

## 【降下火砕物の分布に関する調査結果】

- ・文献調査の結果、三瓶浮布テフラ(Suk)、三瓶池田テフラ(SI)、三瓶大田(SOd)及び三瓶太平山噴火時の降下火砕物は、敷地まで到達していないと考えられる。
- ・地質調査の結果、敷地は三瓶木次テフラ(SK)の等層厚線で10cm程度の範囲に位置している。また、敷地では降下火砕物は確認されていない。
- ・文献調査の結果、三瓶大田(SOd)は火砕流堆積物(pfl)の分布域として記載されており、降下火山灰層の分布面積・層厚は著しく小さいとされている。

## 【噴火履歴による検討結果】

- ・最新活動期は溶岩ドーム形成期であり、爆発性が低下している。
- ・階段ダイヤグラムによる検討の結果、約110万年前以降、噴火規模の最も大きな木次降下軽石の噴出までの期間(約100万年)は、木次降下軽石の噴出からの経過時間(約11万年)に比べ十分に長いことから、原子力発電所の運用期間中には、木次降下軽石のような広域火山灰を降下させる規模の噴火を起こす可能性は極めて低いと考えられる。
- ・一方、それ以外の噴火については、木次降下軽石以降においても繰り返し発生している。
- ・三瓶山のカルデラ形成期を含む一連の噴火は、火砕流堆積物の分布範囲は限定的であり、その噴火規模もVEI5規模であることから、原子力発電所の火山影響評価ガイド(一部改正)における「設計対応不可能な火山事象を伴う火山活動の評価」の巨大噴火には該当しない。

## 【地球物理学的調査結果】

- ・三瓶山の北東～南東側の地下深部に広がる低速度層と低周波微小地震の存在から、マグマ溜まりの存在する可能性を示唆しているが、仮にマグマ溜まりとしても、これらの低速度層は20km以深に位置しており、東宮(1997)による玄武岩質マグマの浮力中立点の深度12kmよりも深い位置にあると推察されることから、原子力発電所の運用期間中には、木次降下軽石のような広域火山灰を降下させる規模の噴火を起こす可能性は極めて低いと考えられる。

## 【火山噴火予知連絡会等の中長期的な火山活動の評価結果】

- ・三瓶山はVEI2以上マグマ噴火活動履歴による今後100年間程度の長期評価が休止期であること等から、気象庁による監視・観測体制の充実等の必要がある火山として、選定されていない。
- ・火山噴火予知連絡会等の中長期的な火山活動評価及び観測結果によると、火山活動に特段の変化はなく、静穏に経過しており、噴火の兆候は認められないとされていることから、原子力発電所の運用期間中には、木次降下軽石のような広域火山灰を降下させる規模の噴火を起こす可能性は極めて低いと考えられる。

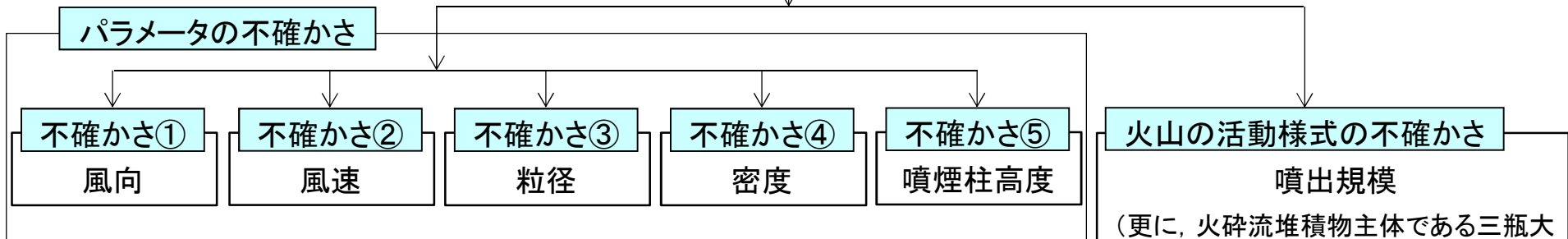
- ・噴火履歴による検討結果、地球物理学的調査結果等によると、原子力発電所の運用期間中には、木次降下軽石のような広域火山灰を降下させる規模の噴火を起こす可能性は極めて低いと考えられる。
- ・原子力発電所の運用期間中の規模として、木次降下軽石以外の噴火の中で降下火砕物として最大規模となる浮布降下火山灰(噴出量4.15km<sup>3</sup>)の噴火の可能性を考慮し、火山灰シミュレーションを実施する。

原子力発電所の運用期間中の規模として、木次降下軽石以外の噴火の中で降下火砕物として最大規模となる浮布降下火山灰(以下、三瓶浮布テフラ)の噴火の可能性を考慮し、火山灰シミュレーションを実施する。

- ・敷地は三瓶山の風下側に位置し、風向によっては降灰が想定されることから、敷地における降灰層厚が最大となる月の大気パラメータを用いたシミュレーションを基本ケースとし、パラメータの不確かさを考慮して降灰層厚への影響について検討する。
- ・三瓶大田(噴出規模 $6.60\text{km}^3$ )については、火砕流堆積物主体であるが降下火砕物を含むことから、火山の活動様式の不確かさとして、その噴出規模を考慮する。

**基本ケース**

- ・三瓶浮布テフラの噴出規模( $4.15\text{km}^3$ )
- ・敷地における降灰層厚が最大となる月の大気パラメータを選定



・不確かさのパラメータ設定の考え方

- ①敷地方向への仮想風を考慮したケース
- ②基本ケースの風速を $1\sigma$ 増減させたケース
- ③Tephra2による推奨値の粒径範囲(珪長質: $-10\sim 10\phi$ )に対し、推奨限界値( $-6\sim 6\phi$ )を設定したケース
- ④粒径に基づき設定される粒子密度( $1,000\sim 2,600\text{kg}/\text{m}^3$ )に対し、密度均一( $1,000\text{kg}/\text{m}^3$ ,  $2,600\text{kg}/\text{m}^3$ )を設定したケース
- ⑤基本ケースの噴煙柱高度 $27\text{km}$ に対し、 $20\text{km}$ ,  $25\text{km}$ ,  $30\text{km}$ を設定したケース

**火山灰シミュレーションの概要**

- ・シミュレーションのプログラム: Tephra2(バグ修正後プログラム※1)
- ・想定する噴火規模: 三瓶浮布テフラ(総噴出量: 4.15km<sup>3</sup>※2)
- ・各パラメータ(地形, 噴煙柱, 粒子, 大気): 下表のとおり

※1 詳細は, (参考)「火山灰シミュレーションTephra2のバグ修正に係る影響検討について」に示す。  
 ※2 保守的に溶岩を含む総噴出量を設定

※4 L.G. Mastin et al. (2009) に示される噴煙柱高度の回帰式  $H(\text{km}) = 25.9 + 6.64 \log_{10}(V(\text{km}^3 \text{DRE}))$

見かけ体積は, 第四紀火山カタログ編集委員会編(1999)による。  
 計算により算出

各パラメーター一覧表

対象とする火山			三瓶山	引用した文献・資料など
想定する噴火規模			SUk(溶岩ドーム含む)	
地形 パラメータ	地形モデル解析	m	1,000	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
	火口位置X	m	283,297	
	火口位置Y	m	3,891,189	
	火口位置Z	m	1,126	
噴煙柱 パラメータ	噴煙柱上端の標高	m	27,000	右表参照
	噴出物の総重量	kg	4.2E+12	右表参照
	最大粒径	phi	-10(2 <sup>10</sup> mm=1024mm)	TEPHRA2による推奨値 ※3
	最小粒径	phi	10(2 <sup>-10</sup> mm=9.77 × 10 <sup>-4</sup> mm)	
	中央粒径	phi	4.5(2 <sup>-4.5</sup> mm=0.0442mm)	
標準偏差	phi	3(2 <sup>-3</sup> mm=0.125mm)		
粒子 パラメータ	渦拡散係数	m <sup>2</sup> /s	0.04	T.Suzuki(1983) <sup>(30)</sup> より
	拡散係数	m <sup>2</sup> /s	500	萬年(2013) <sup>(31)</sup> より
	Fall Time Threshold	s	3,600	C.Bonadonna et al.(2005) <sup>(32)</sup> より
	岩片の見かけ密度	kg/m <sup>3</sup>	2,600	TEPHRA2による推奨値 ※3
	軽石の見かけ密度	kg/m <sup>3</sup>	1,000	
大気 パラメータ	風速	m/s	高度ごとに月平均風速(9時, 21時)の平均値	気象庁公開データ(1988.1~2013.6) ・松江(2010.3~)&米子(1988.1~2010.2) ・高度は指定気圧面を計算式により変換した高度
	風向	度	高度ごとに月平均風向(9時, 21時)の最頻値	
	季節条件		1月~12月	

※3 Tephra2 Users Manual Spring 2011(University of South Florida)より

対象とする火山	三瓶山	
想定する噴火規模	SUk	備考
噴煙柱高度 H (km) ※4	27	
見かけ体積 V1 (km <sup>3</sup> )	4.15	
見かけ体積 V2 (km <sup>3</sup> DRE)	1.60	
噴出物総重量 (kg)	4.2E+12	

換算値		
岩片の見かけ密度	2,600	kg/m <sup>3</sup>
降下火砕物の見かけ密度	1,000	kg/m <sup>3</sup>

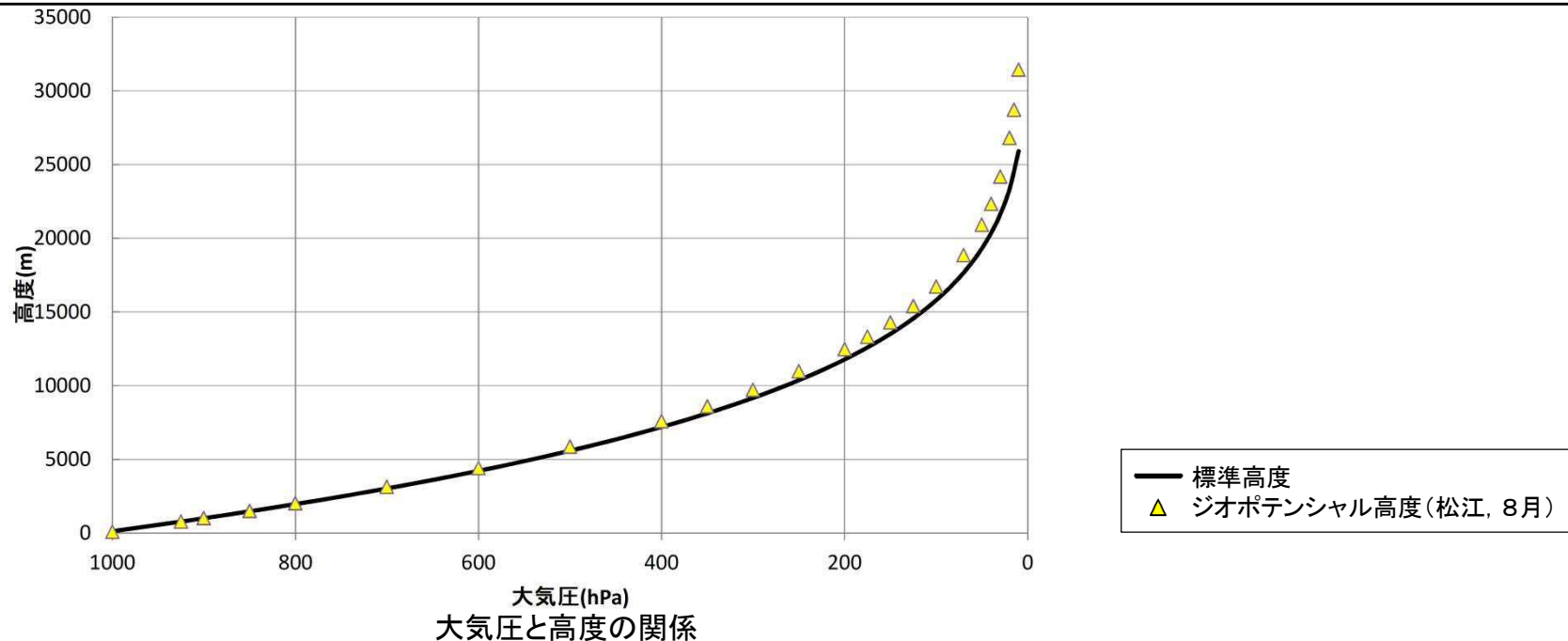


# 大気パラメータの考え方

- ・ 気象庁は、指定気圧面(観測を実施する25の気圧面, 1000hPaから5hPaまで)の風速, 風向等を取得している。
- ・ 指定気圧面の換算高度については、主に以下の2種類がある。
  - 方法① 実際の大気の状態に係わらず、標準的な大気モデルを用いて求めた高度(以下、標準高度)
    - 標準高度は、ICAO(国際民間航空機関)の標準大気(大気圧と高度の関係)を参考に、対象火山周辺の大気条件(観測所における地上の大気圧, 気温)を考慮して作成している。
  - 方法② 指定気圧面ごとの気圧, 気温等を用いて計算で求めた高度(以下、ジオポテンシャル高度)
    - ジオポテンシャル高度は、同一気圧面における高度が大気の状態に応じて変動するため、気象庁よりデータ提供されている対象火山周辺のジオポテンシャル高度に基づき統計処理を行い、データ取得期間の指定気圧面ごとの平均値を作成している。

## 大気パラメータの考え方:

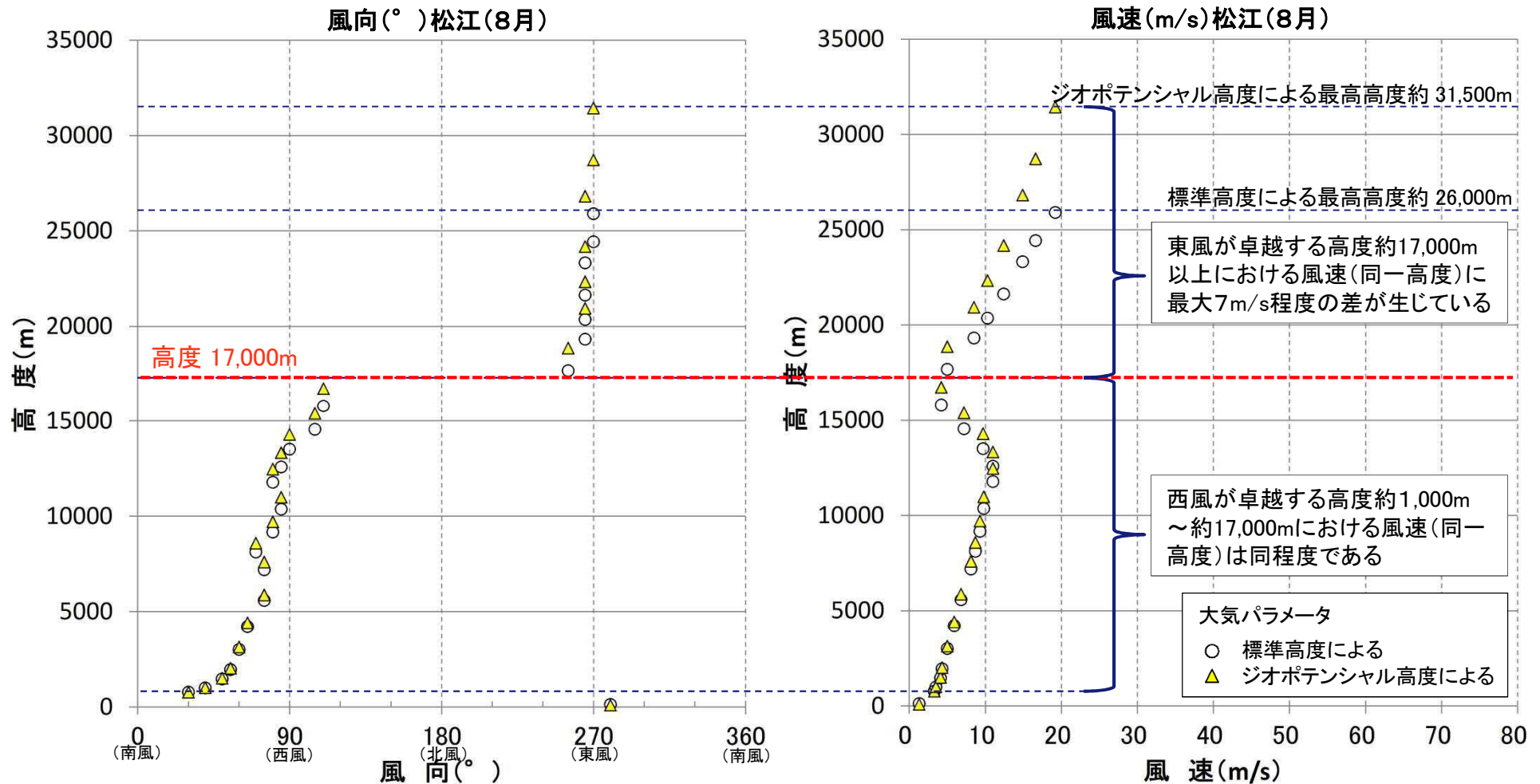
- ① 基本ケースのうち敷地における降灰層厚が最大となる8月の大気パラメータにより、標準高度による場合とジオポテンシャル高度による場合とを比較した結果、敷地における降灰層厚は同程度となることから(次頁以降参照)、標準高度による大気パラメータを用いた火山灰シミュレーションを実施する。
- ② 敷地における降灰層厚が最大となるケースについては、ジオポテンシャル高度による大気パラメータを用いた火山灰シミュレーションも実施し、標準高度による大気パラメータを用いた火山灰シミュレーション結果の妥当性を確認する。



# (参考)大気パラメータの比較

## 大気パラメータの比較(敷地における降灰層厚が最大となる月:8月)

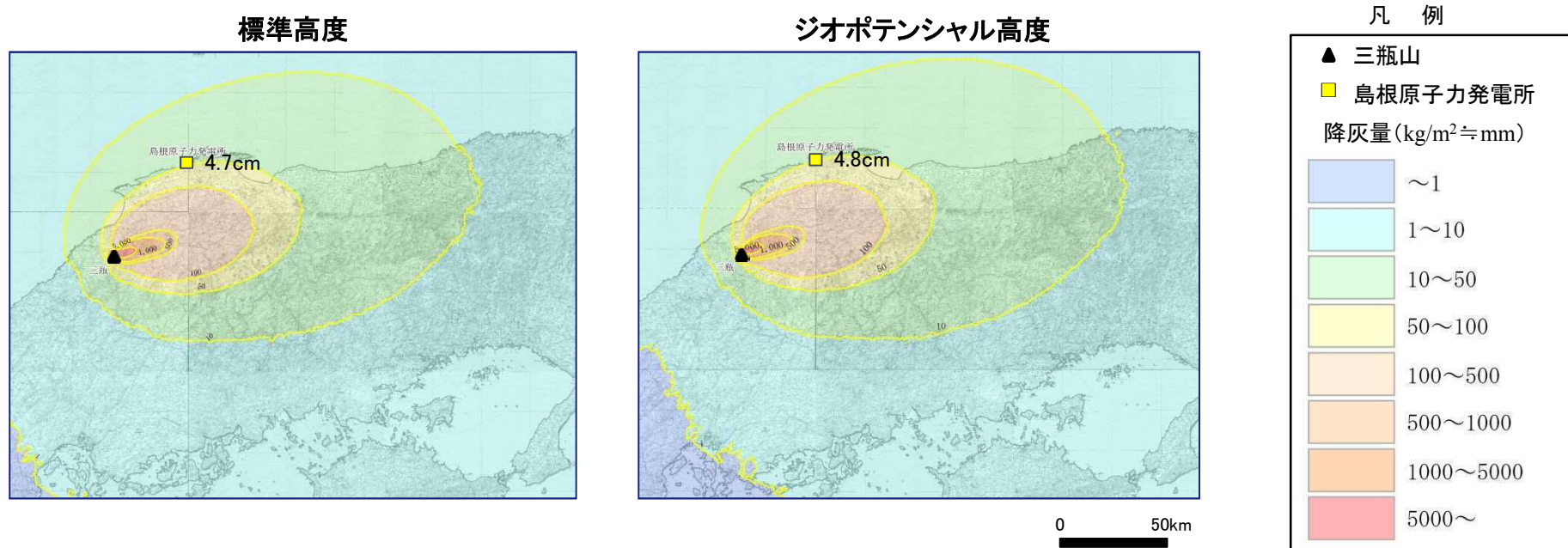
- ・ 高度約1,000m～約17,000mでは西風が卓越し、標準高度による風速とジオポテンシャル高度による風速(同一高度)は同程度である。
- ・ 一方、高度約17,000m以上では東風が卓越し、標準高度による風速とジオポテンシャル高度による風速(同一高度)には、最大7m/s程度の差が生じている。



## (参考)大気パラメータの影響

### 大気パラメータの影響検討(敷地における降灰層厚が最大となる月:8月)

基本ケースのうち敷地における降灰層厚が最大となる8月の大気パラメータを対象に、標準高度による場合とジオポテンシャル高度による場合の比較検討を実施した。



- ・基本ケースのうち敷地における降灰層厚が最大となる8月の大気パラメータにより、標準高度による場合とジオポテンシャル高度による場合とを比較した結果、敷地における降灰層厚は同程度(0.1cm差)となることが確認された。
- ・高度約17,000m以上の大気パラメータの設定が敷地における降灰層厚に及ぼす影響はほとんどないと考えられる。

# 噴煙柱高度の考え方(L.G. Mastin et al. (2009)による)

- L.G. Mastin et al. (2009)は、西暦1,900年以降の世界の火山の噴火(VEI2~6)について、既存の公開資料に記載されている噴煙柱高度、噴出量、継続時間等を整理し、これらのデータセットを用いて噴煙柱高度と噴出量の回帰式を求めている。
- 火山灰シミュレーションの対象火山である三瓶山、大山及び鬱陵島の考慮する噴出量は2.19~12.22km<sup>3</sup>と幅広となることから、この回帰式を用いて噴出規模に応じた噴煙柱高度を設定する。なお、設定された噴煙柱高度は25~30kmであり、町田・新井(2011)に示されるVEI5以上の噴煙柱高度(>25km)と整合する。
- 三瓶浮布テフラ(噴出量:4.15km<sup>3</sup>)の場合、回帰式により設定される噴煙柱高度は27kmとなる。この三瓶浮布テフラに関する火山灰シミュレーション(基本ケース)について、回帰式により設定される噴煙柱高度27kmを用いた場合と町田・新井(2011)に示されるVEI5の噴煙柱高度の最小値25kmを用いた場合の敷地における降灰層厚を比較した結果、いずれの月も両者は同程度である(次頁以降参照)。

## 世界の火山の噴火事例(データセット)

**Table 1**  
Eruption source parameters for well-studied eruptions. Variables include plume height  $H$ , erupted volume  $V$ , mass eruption rate  $M$ , and duration  $D$ . The mass eruption rate is calculated by multiplying the erupted volume by density to arrive at an erupted mass, and then dividing the erupted mass by the duration. Plume heights are annotated with a letter, which indicates the method by which plume height was estimated: "v"-visual observation from the ground or an airplane; "r"-radar; "s"-satellite images; "i"-isopleth data. For silicic eruptions, column 3 indicates the magma type; r=ryholite, d=dacite, a=andesite. Letters in parentheses indicate subordinate magma types. Observations that form the basis for these values are described in Mastin et al. (in preparation)

Volcano	Date of onset	Magma type	VEI	H, (km)	V, (km <sup>3</sup> ) DRE	M, (kg/s)	D, (h)	Reference
<i>Silicic and andesitic eruptions</i>								
St. Helens	3/8/2005	d	2	9v	1e-04	4e05	0.5	1.2
St. Helens	7/22/1980	d	2	10.3r	0.001	1.4e06	0.45	3
St. Helens	5/25/1980	d	3	10.2r	0.016	2e07	<0.5	3
St. Helens	6/12/1980	d	3	9.6r	0.017	2e07	0.5	3
Pinatubo, Philippines	6/12/1991	d	3	17.5r	0.0056	6e06	0.63	4.5,40
Ruapehu, NZ	6/17/1996	a	3	5.7s	0.002	2e05	6.5	12.13
Redoubt, USA	12/15/1989	a	3	9v	0.008	4-7e06	1.03	14, 15
Nevado del Ruiz, Colombia	11/13/1985	a,d	3	26i	0.014	3e07	0.3	16
Spurr, USA	6/27/1992	a	3	11.3r	0.012	2e06	4.4	17,18,19
Spurr, USA	8/18/1992	a	3	10.5r	0.014	3e06	3.5	17,18,19
Spurr, USA	9/17/1992	a	3	10.7r	0.015	3e06	3.6	17,18,19
Hekla, 1970	5/5/1970	a	3	12-16v	0.017	6e06	2	20
Hekla, 1980	8/17/1980	a	3	15v	0.019	2e06	5	21
Reventador, Ecuador	11/3/2002	a	4	17v	0.12	1e07	22	22
Hekla, 1947	3/29/1947	a	4					
brownish-gray ash		a		28v	0.034	4.6e07	0.5	
brownish-black ash		a		8-25v	0.013	1.6e07	0.5	23
Soufriere, St. Vincent	5/7/1902	a,d	4	14v	0.14	3-4e07	2.5-3.5	24,25
El Chichón A, Mexico	3/29/1982	a	5	20r	0.30	3.5e07	5	26
H Chichón B, Mexico	4/4/1982 0135 GMT	a	5	24i	0.39	6.0e07	4	26
H Chichón C, Mexico	4/4/1982 1122 GMT	a	5	22i	0.40	4.0e07	7	26
Hudson, Chile	8/12/1991	a	5	12-18v	3.0	7e07	31	27,28
St. Helens	5/18/1980	d	5	13.5r	0.2	2e07	9	3,6
Quizapu, Chile	4/10/1932	d	6	27-30i	4.0	1.5e08	18	7
Novarupta	6/6/1912	d	6					
Episode I		r,d,(a)		23.5i	2.94	1.2e08	16	
Episode II		d		22.5i	1.96	5.2e07	26	
Episode III		d,(a)		19i	1.63	1.1e08	10	8
Pinatubo, Philippines	6/15/1991	d	6	35-40s	0.8-1.6	2-4e08	3	9,10,11,40
Santa Maria, Guatemala	10/24/1902	a,(d)	6	34i	3.3	5-7e07	24-36	29,30,31
<i>Basaltic eruptions</i>								
Etna, 2001	7/19/2001		2	0.5-2.5v	9e-04	6e03	115	32
Cerro Negro, 1995	11/19/1995		2	2-2.5v	1.3e-03	9.4e03	~100	33
Cerro Negro, 1992	4/9/1992		3	2.8-6.8v	0.0094	3e05	~21	33
Izu-Oshima	11/21/1986	a,(a)	3	10s,r,v	0.0045	8e05	3	41
Fuego, 1971	9/14/1971		3	10v	0.03	1.7e06	12	34,35
Miyakejima, Japan	8/18/2000		3	15.5r	0.0042	1.2e06	3.4	36,37,38
Fuego, 1974	10/14/1974		4	10v	0.02	3e06	5	39

Information sources:  
<sup>1</sup>Mastin (2007); <sup>2</sup>Scott et al. (in press); <sup>3</sup>Sarna-Wejicki et al. (1981); <sup>4</sup>Paladio-Melosantos et al. (1996); <sup>5</sup>Hoblitt et al. (1996); <sup>6</sup>Durant et al. (this volume); <sup>7</sup>Hildreth and Drake (1992); <sup>8</sup>Friestein and Hildreth (1992); <sup>9</sup>Koyaguchi (1996); <sup>10</sup>Koyaguchi and Ohno (2001a); <sup>11</sup>Hotasek et al. (1996); <sup>12</sup>Prata and Grant (2001); <sup>13</sup>Bonadonna and Houghton (2005); <sup>14</sup>Miller and Chouet (1994); <sup>15</sup>Scott and McGimsey (1994); <sup>16</sup>Naranjo et al. (1986); <sup>17</sup>Neal et al. (1995); <sup>18</sup>Eichelberger et al. (1995); <sup>19</sup>McGimsey et al. (2001); <sup>20</sup>Thorarinnsson and Sigvaldason (1971); <sup>21</sup>Gronvold et al. (1983); <sup>22</sup>Smithsonian Institution (2002); <sup>23</sup>Thorarinnsson (1949); <sup>24</sup>Anderson and Flett (1903); <sup>25</sup>Carey and Sigurdsson (1978); <sup>26</sup>Carey and Sigurdsson (1986); <sup>27</sup>Scasso et al. (1994); <sup>28</sup>Naranjo et al. (1993); <sup>29</sup>Rose (1972); <sup>30</sup>Rose and Sparks (1986); <sup>31</sup>Anderson (1908); <sup>32</sup>Scollo et al. (2007); <sup>33</sup>Hill et al. (1998); <sup>34</sup>Bonadonna and Salazar (1973); <sup>35</sup>Rose et al. (1973); <sup>36</sup>Tupper et al. (2004); <sup>37</sup>Nakada et al. (2005); <sup>38</sup>Geshi et al. (2002); <sup>39</sup>Rose et al. (2008); <sup>40</sup>Pallister et al. (1992); <sup>41</sup>Mannen (2006).

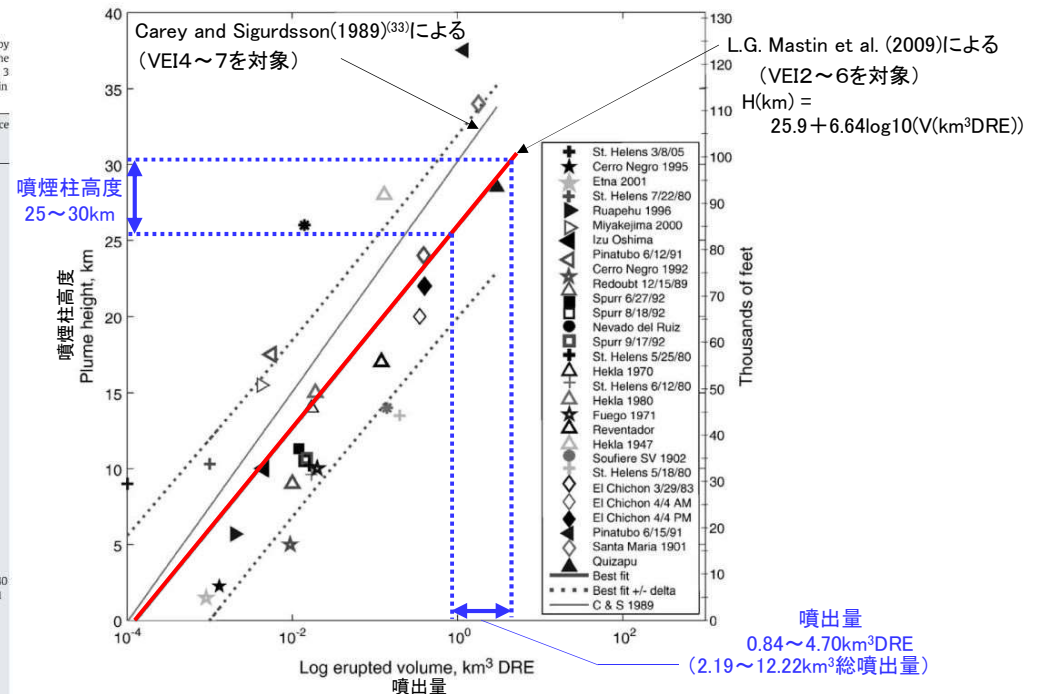


Fig. 2. Plume height versus log erupted volume (DRE) for the eruptions listed in Table 1. The bold solid line is the best-fit curve through the data, and the bold dotted lines are envelope curves that enclose 50% of the predictions as calculated by the routine polyval in Matlab®. The light solid line is the best-fit curve obtained by Carey and Sigurdsson (1989). Symbols in the legend are arranged from smallest to largest erupted volume.

## 噴煙柱高度と噴出量の関係

L.G. Mastin et al. (2009)より引用・加筆

(参考)噴煙柱高度の考え方(町田・新井(2011)による)

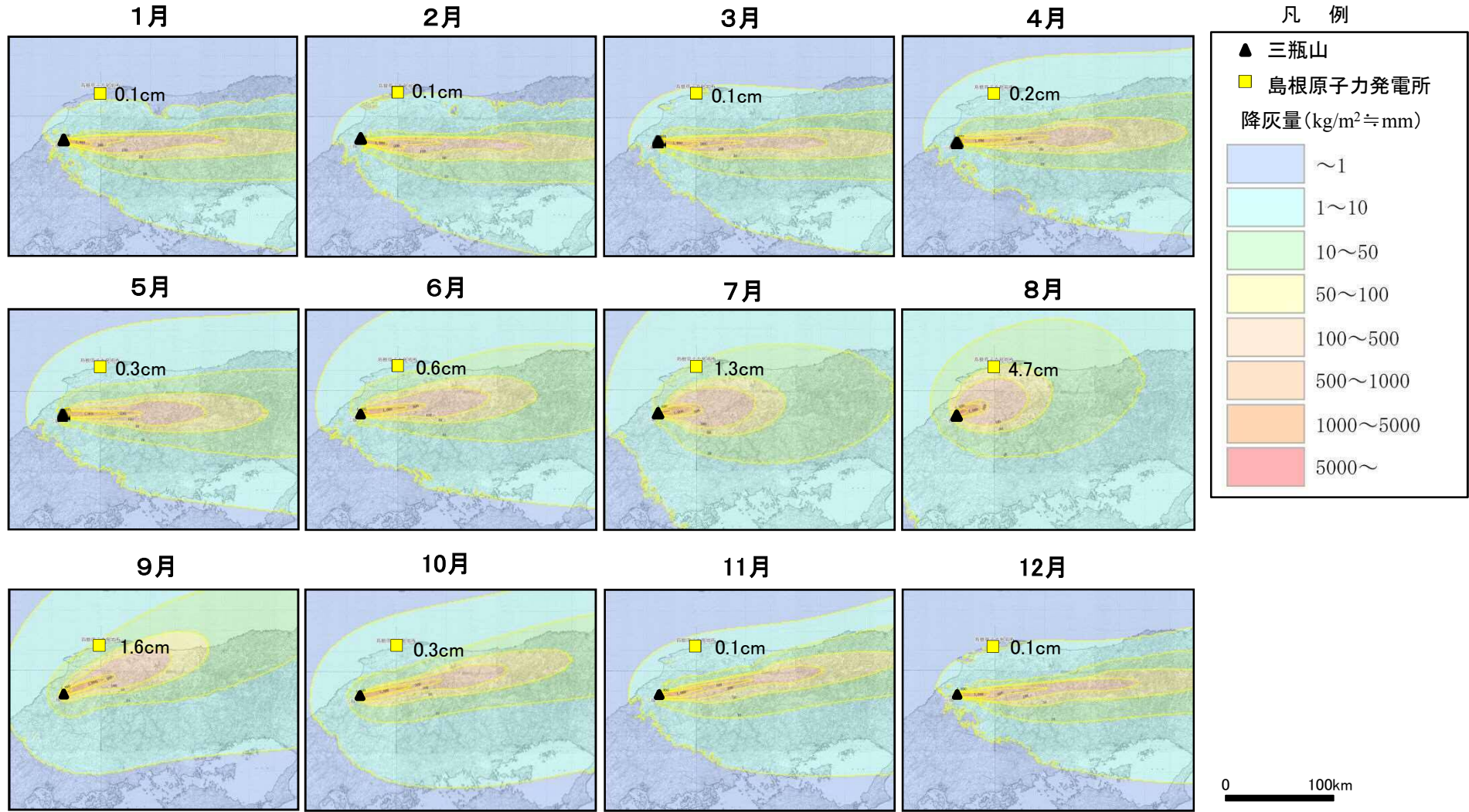
- ・火山灰シミュレーションの対象火山である三瓶山, 大山及び鬱陵島の考慮する噴出規模は $2.19 \sim 12.22 \text{ km}^3$ であり, VEI5以上に相当する。
- ・町田・新井(2011)によると, L.G. Mastin et al. (2009)に示される噴煙柱高度の回帰式と同様に, 噴出物総体積が大きくなるほど噴煙柱高度が大きくなるとされており, また, VEI5以上の噴煙柱高度は $25 \text{ km}$ 以上になるとされている。

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 ( $\text{km}^3$ )	0.0001 ~	0.001 ~	0.01 ~	0.1 ~	1 ~	10 ~	100 ~	1000~
噴煙柱高度 (km)	0.001 0.1~1	0.01 1~5	0.1 3~15	1 10~25	10 >25	100	1000	
	小噴火	中噴火		大噴火	巨大噴火		破局的噴火	
		爆発的噴火						
		テフクロノロジーに利用						
	高頻度				低頻度			

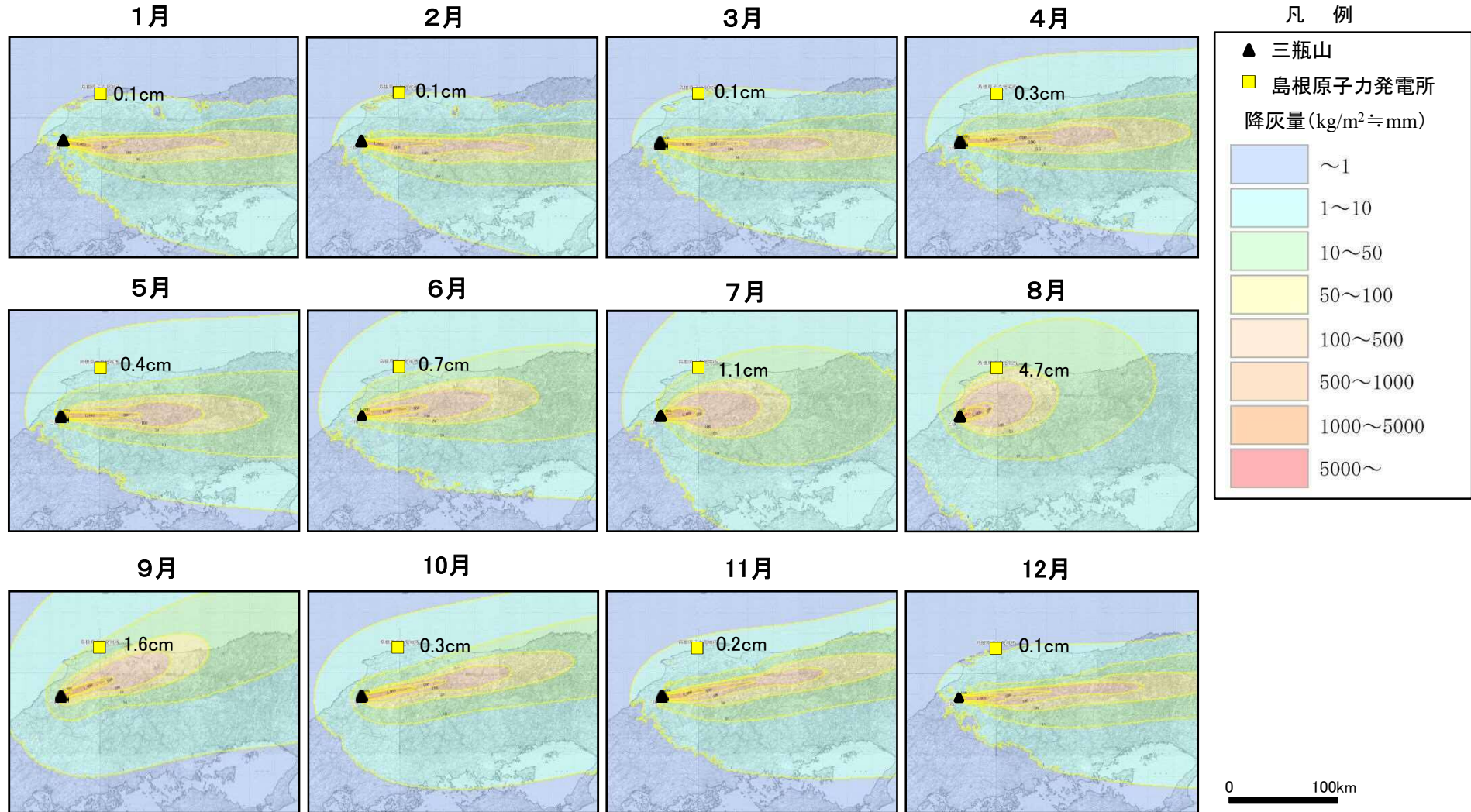
基本ケース(噴煙柱高度:27km( L.G. Mastin et al. (2009)に示される噴煙柱高度の回帰式による))



火山灰シミュレーションの結果、偏西風の弱まる8月の降下量が最大となり、敷地における降灰層厚は4.7cmとなった。

(参考)噴煙柱高度の影響

基本ケース(噴煙柱高度:25km(町田・新井(2011))に示されるVEI5の噴煙柱高度の最小値))



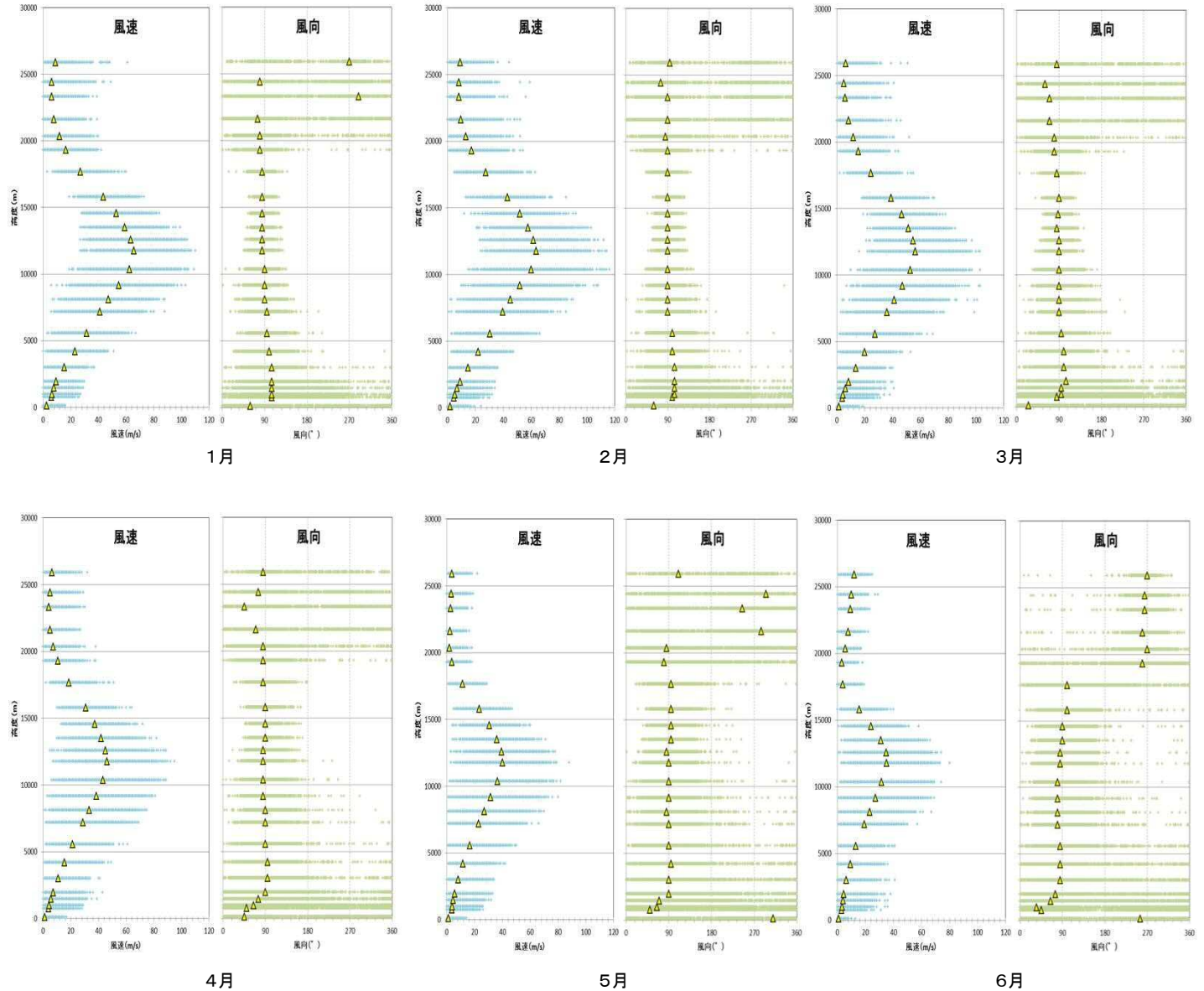
噴煙柱高度を25kmとした火山灰シミュレーションを実施した結果、敷地における降灰層厚は、噴煙柱高度27kmの場合と同程度(最大0.2cm差)となることを確認した。

# 三瓶山に関する火山灰シミュレーション(大気パラメータ)

## 大気パラメータ

三瓶山と比較的緯度が近い、気象庁の米子観測所(1988年1月～2010年2月)及び松江観測所(2010年3月～2013年6月)のデータを用いた。

偏西風の風速が大きい約17,000m以下の高度では、年間を通じて西風が卓越し、冬は風向のばらつきが小さく、夏は風向のばらつきが著しい。また、冬に風速が大きく、夏に風速が小さい。

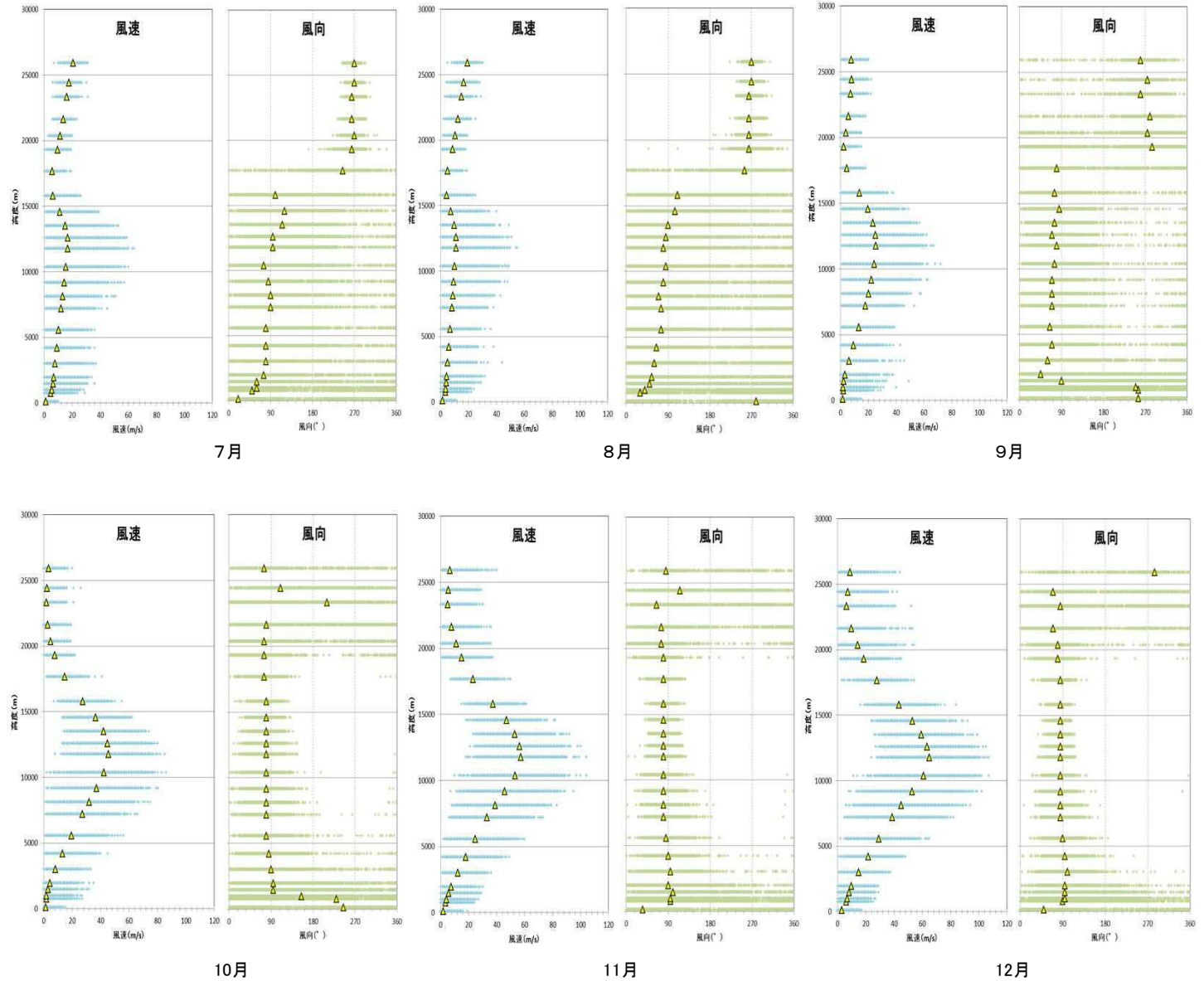


- 凡例
- + : 風速データ
  - + : 風向データ
  - △ : 月平均風速の平均値  
月平均風向の最頻値

注) 標準高度による大気パラメータとして表示



# 三瓶山に関する火山灰シミュレーション(大気パラメータ)



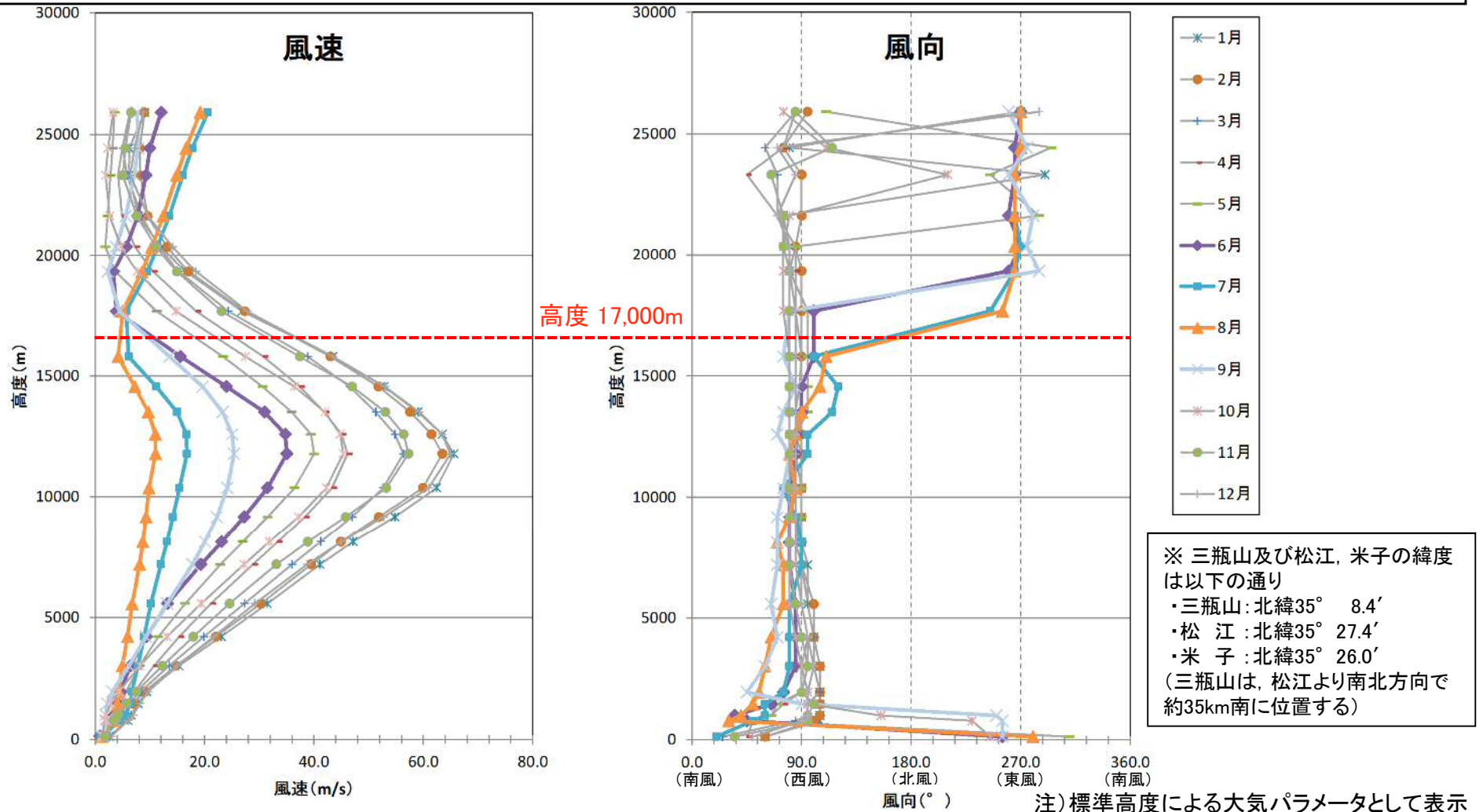
凡例  
 + : 風速データ  
 + : 風向データ  
 ▲ : 月平均風速の平均値  
 ▲ : 月平均風向の最頻値

注) 標準高度による大気パラメータとして表示

# 三瓶山に関する火山灰シミュレーション(大気パラメータ)

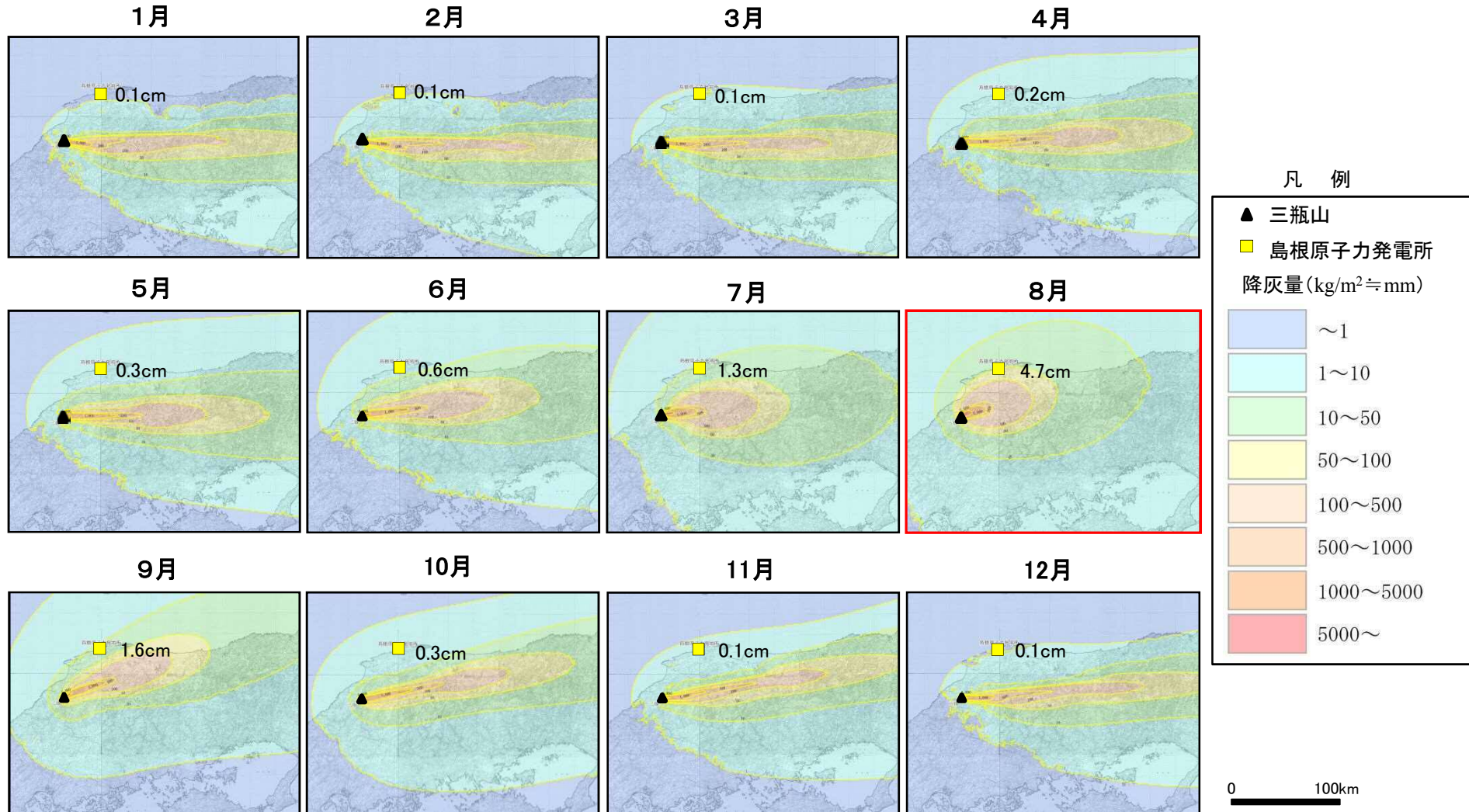
大気パラメータは、三瓶山と比較的緯度が近い※、気象庁の米子観測所(1988年1月～2010年2月)及び松江観測所(2010年3月～2013年6月)のデータを用いた。風速は高度毎の9時, 21時の月平均風速の平均値, また風向は高度毎の9時, 21時の月平均風向の最頻値を使用した。なお、風向・風速データの最高高度(約26,000m)を上回る範囲の風向・風速の設定が敷地における降灰層厚に及ぼす影響はほとんどないと考えられることから(次頁以降参照)、最高点の風向・風速値が高さ方向に一定である(変化しない)ものとして取り扱った。

偏西風の風速が大きい約17,000m以下の高度では、年間を通じて西風が卓越する。



# 三瓶山に関する火山灰シミュレーション(基本ケース)

基本ケース(噴煙柱高度:27km( L.G. Mastin et al. (2009)に示される噴煙柱高度の回帰式による))



火山灰シミュレーションの結果, 偏西風の弱まる8月の降下量が最大となり, 敷地における降灰層厚は4.7cmとなった。8月の大気パラメータを不確かさを考慮する際の基本ケースとして選定する。

# 三瓶山に関する火山灰シミュレーション(不確かさ①<風向>)

## 敷地方向への仮想風を用いた検討

風向のバラつきによる影響が最も大きい8月を対象に、より厳しい条件を考慮した検討として、敷地方向への仮想風を用いたシミュレーションを実施した。なお、風向・風速は、毎日9時、21時の観測データを用いた。

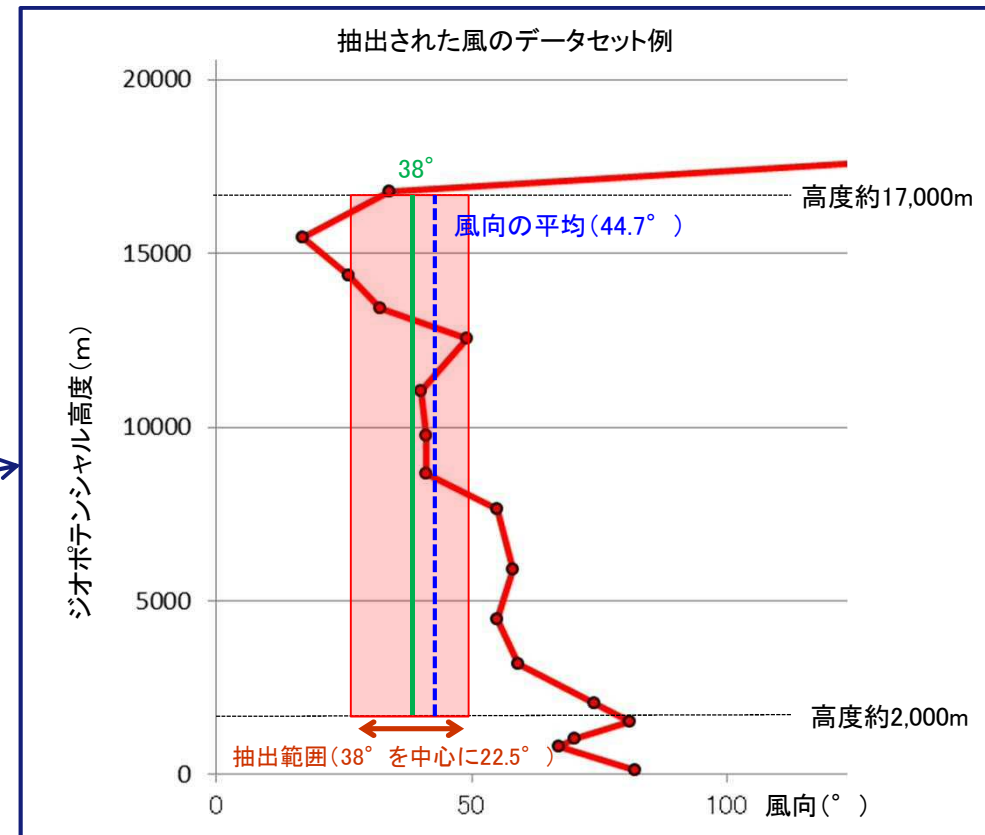
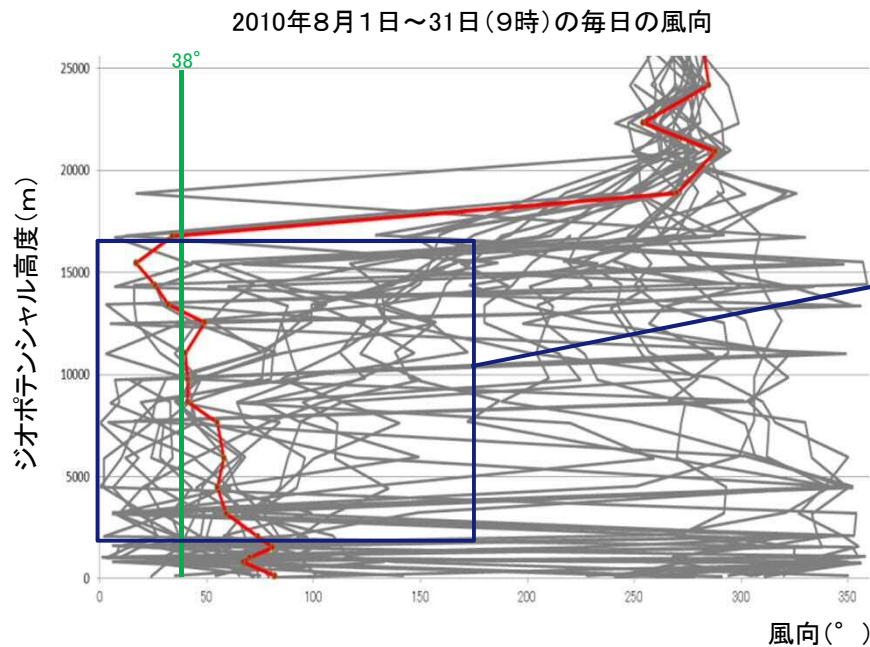
### 【敷地方向の風の抽出条件】

高度約2,000m～約17,000mにおける風向の平均値が抽出範囲内(38° ※1を中心に22.5° ※2の範囲)に入る風。

※1 三瓶山から敷地へ向かう方向

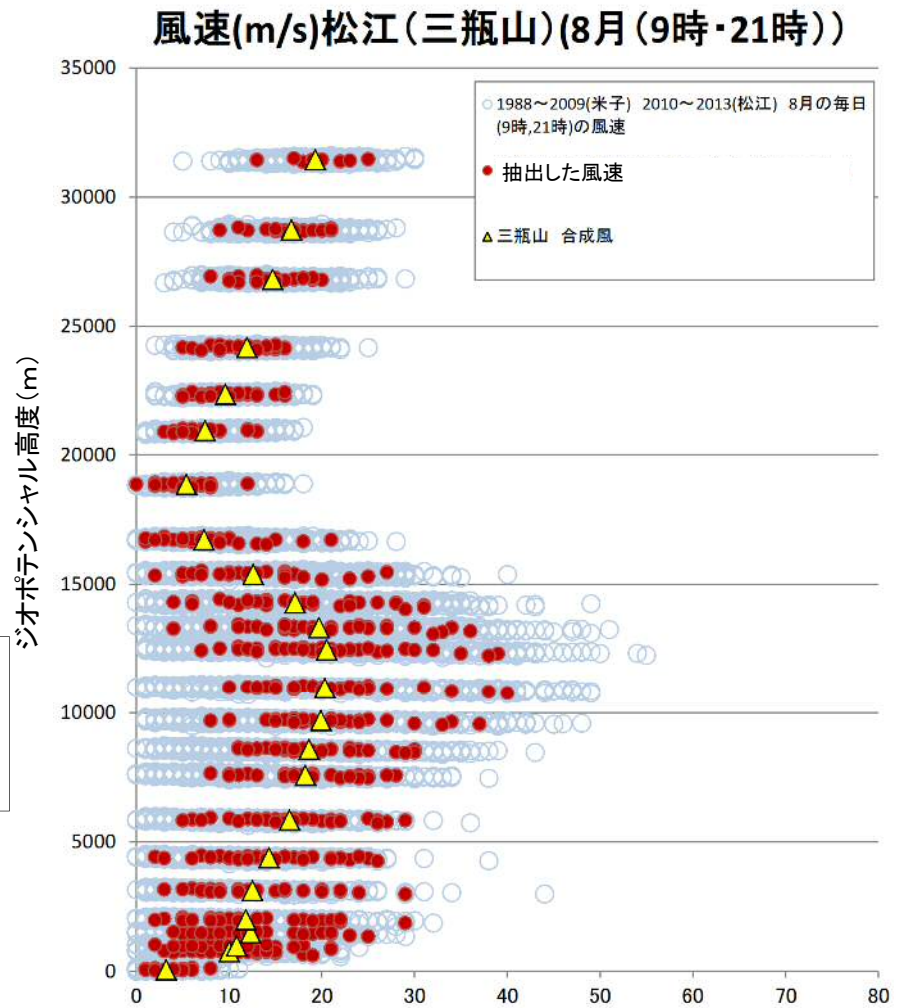
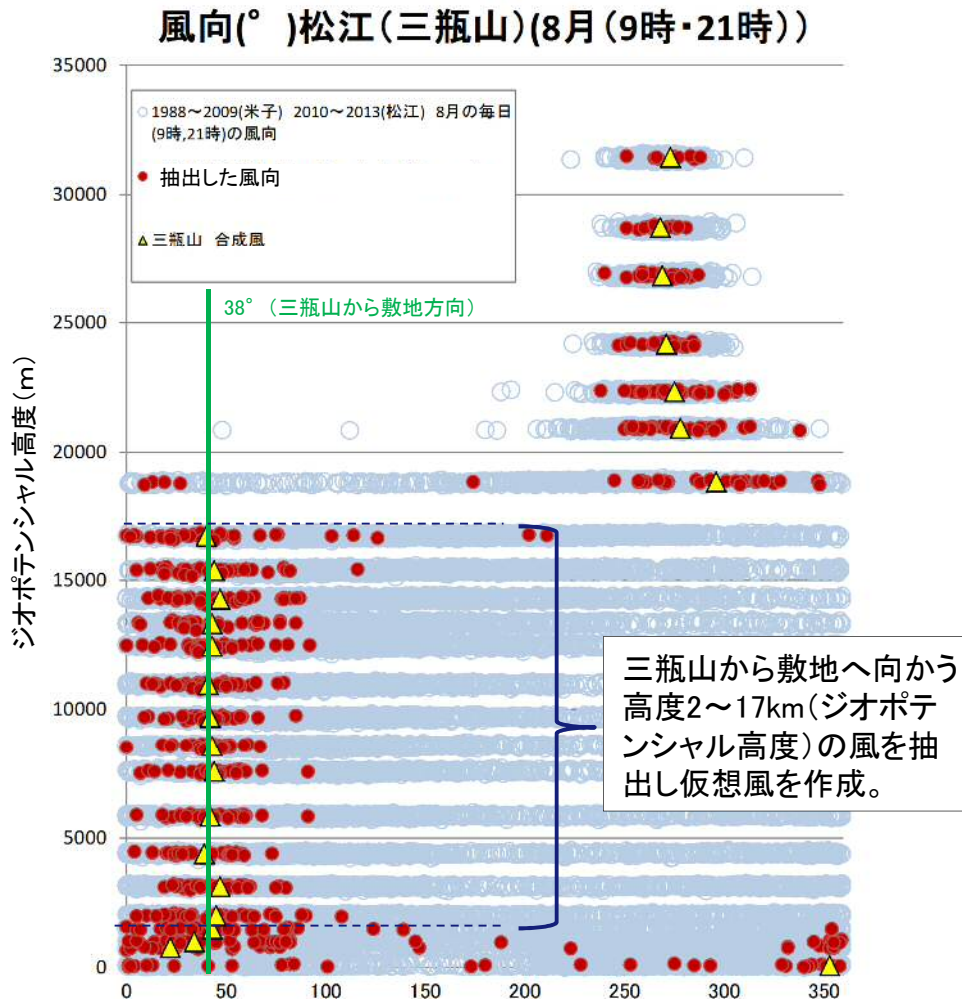
※2 風向を16方位に区分した際の1方位の角度

### 敷地方向の風の抽出方法



上記例の場合、高度2km～17kmにおける各高度の風向の平均が38° を中心に22.5° の範囲内であるため、敷地方向の風のデータセットとして抽出する。

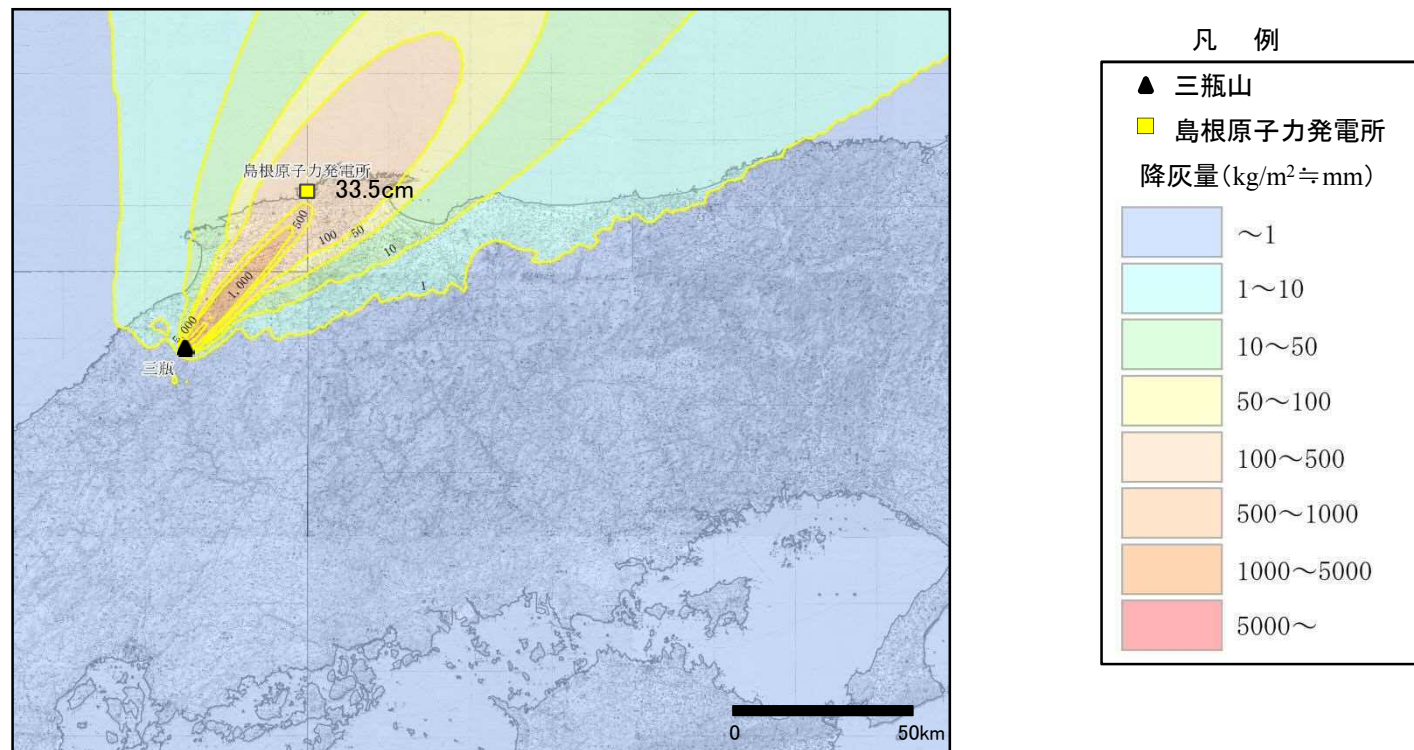
## 敷地方向への仮想風の作成結果(三瓶山)



## 三瓶山に関する火山灰シミュレーション(不確かさ①<風向>)

### 風向の不確かさを考慮した検討結果

風向の不確かさを考慮した検討として、敷地方向への仮想風を考慮した検討を実施した。

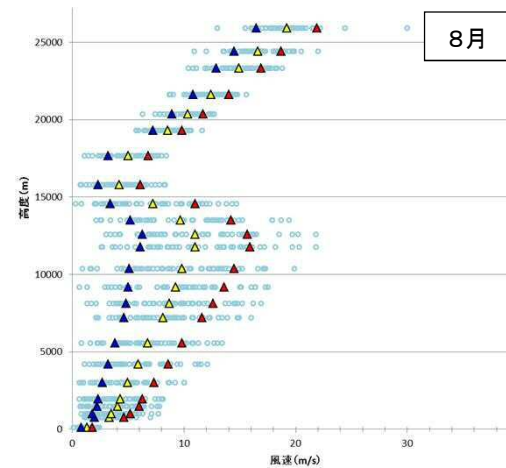


風向の不確かさを考慮した検討として、敷地方向への仮想風を考慮した火山灰シミュレーションを実施した結果、敷地における降灰層厚は、基本ケースの4.7cmに対し33.5cmとなった。

# 三瓶山に関する火山灰シミュレーション(不確かさ②<風速>)

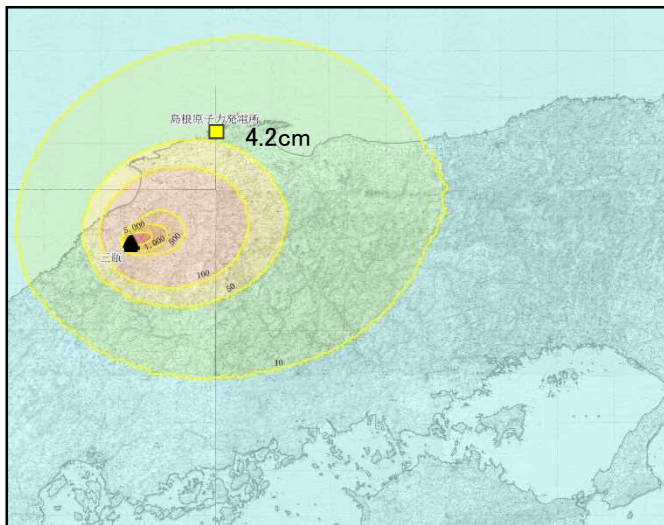
## 風速の不確かさを考慮した検討結果(±1σ)

風速の不確かさを考慮した検討として、敷地における降灰層厚が最大となった8月の大気パラメータを対象に、風速を-1σ, 1σ変化させたケースの検討を実施した。

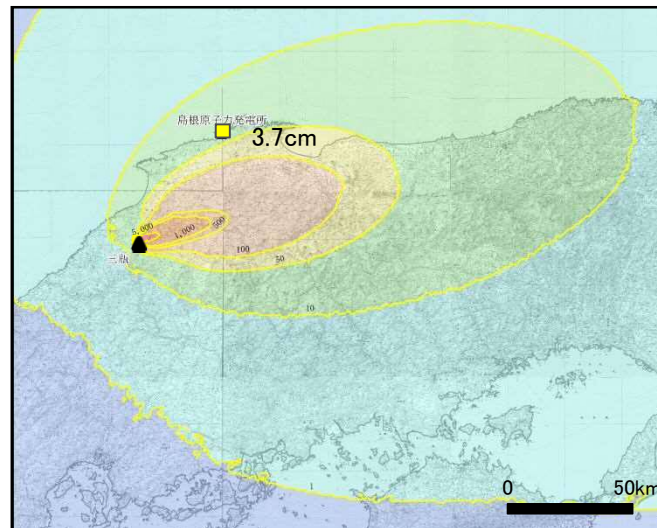


凡例  
○ : 月平均風速  
△ : 月平均風速の平均値  
▲ : 月平均風速の平均値+1σ  
▼ : 月平均風速の平均値-1σ

風速-1σ



風速1σ

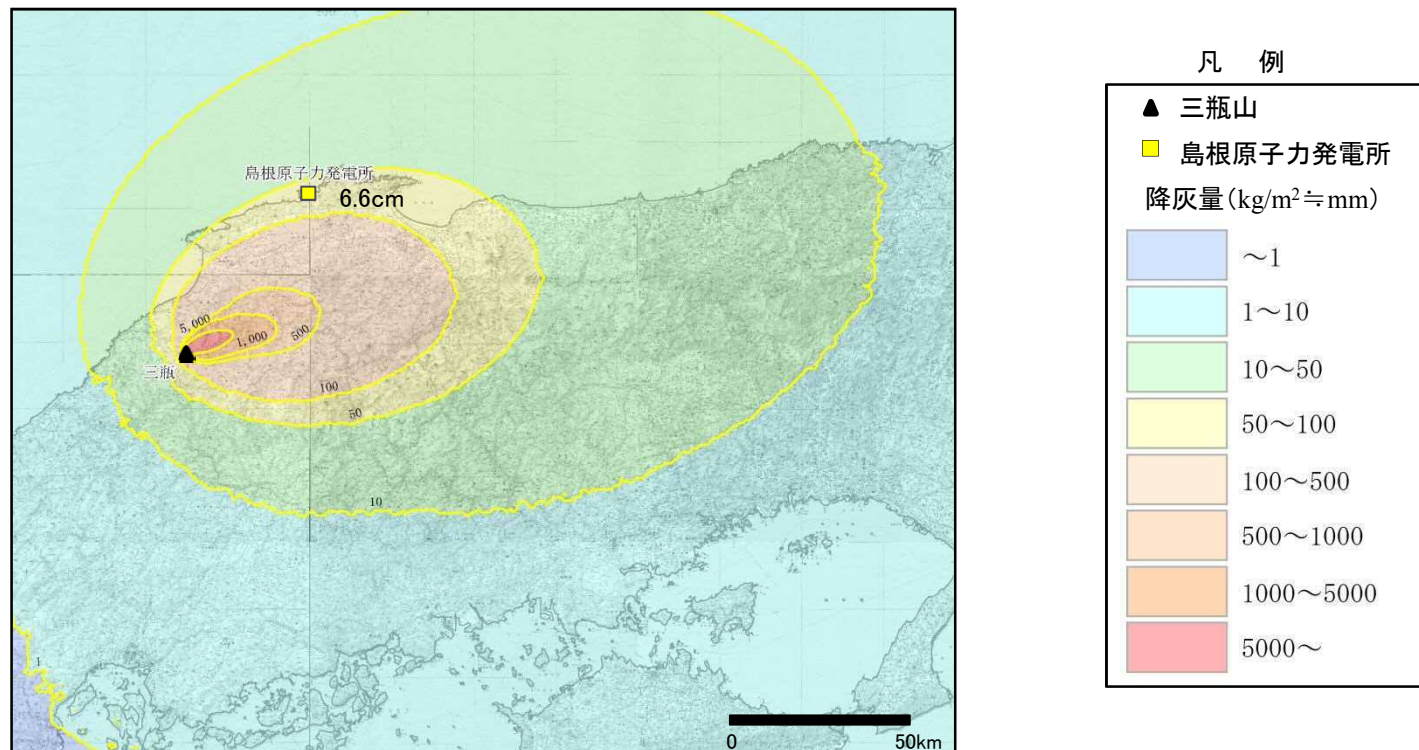


風速の不確かさを考慮した検討として、風速を-1σ, 1σ変化させた火山灰シミュレーションを実施した結果、敷地における降灰層厚は、基本ケースの4.7cmに対し、風速-1σの場合では4.2cm, 風速1σの場合では3.7cmとなった。

## 三瓶山に関する火山灰シミュレーション(不確かさ③<粒径>)

### 粒径の不確かさを考慮した検討結果

粒径の不確かさを考慮した検討として、Tephra2による推奨値(珪長質)の粒径範囲(最大粒径:-10phi ( $2^{10}$ mm), 最小粒径:10phi ( $2^{-10}$ mm))に対し、推奨限界値(最大粒径:-6phi ( $2^6$ mm), 最小粒径:6phi ( $2^{-6}$ mm))を設定したケースの検討を実施した。



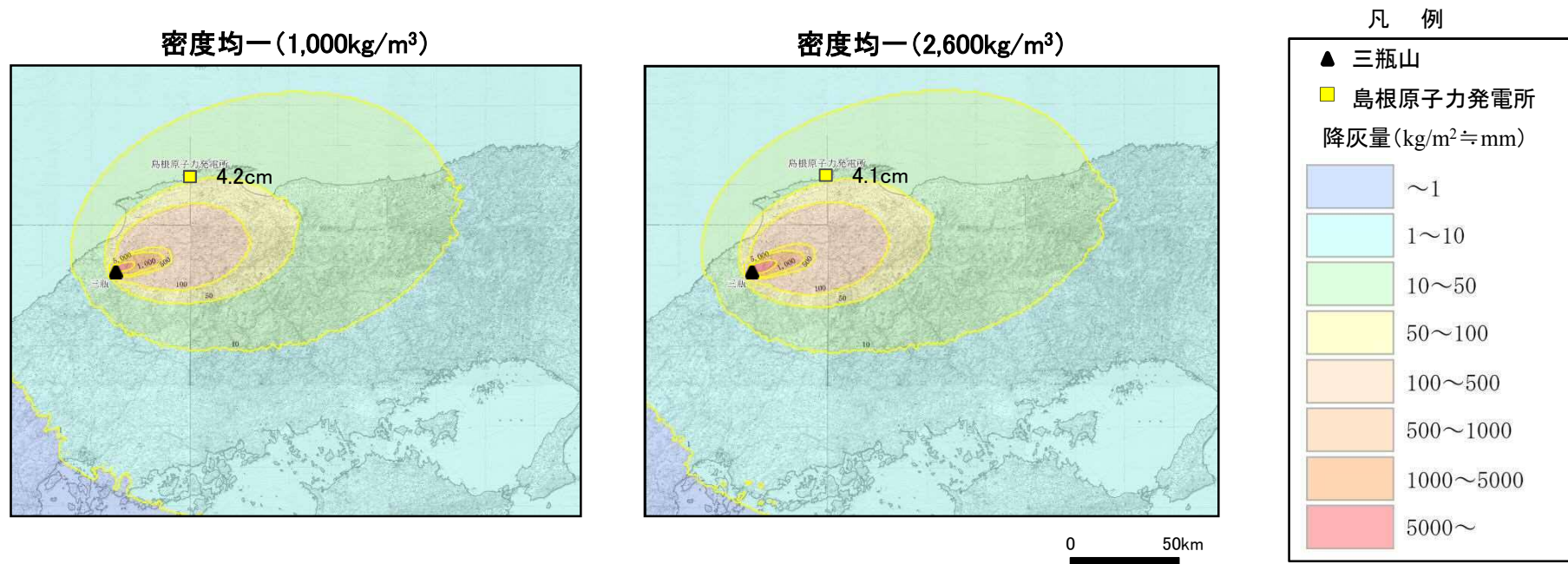
粒径の不確かさを考慮した検討として、粒径範囲を変化させた火山灰シミュレーションを実施した結果、敷地における降灰層厚は、基本ケースの4.7cmに対し6.6cmとなった。



## 三瓶山に関する火山灰シミュレーション(不確かさ④<密度>)

### 密度の不確かさを考慮した検討結果

密度の不確かさを考慮した検討として、粒径に基づき設定される岩片・軽石粒子密度(1,000~2,600kg/m<sup>3</sup>)に対し、密度均一(1,000kg/m<sup>3</sup>, 2,600kg/m<sup>3</sup>)を設定したケースの検討を実施した。

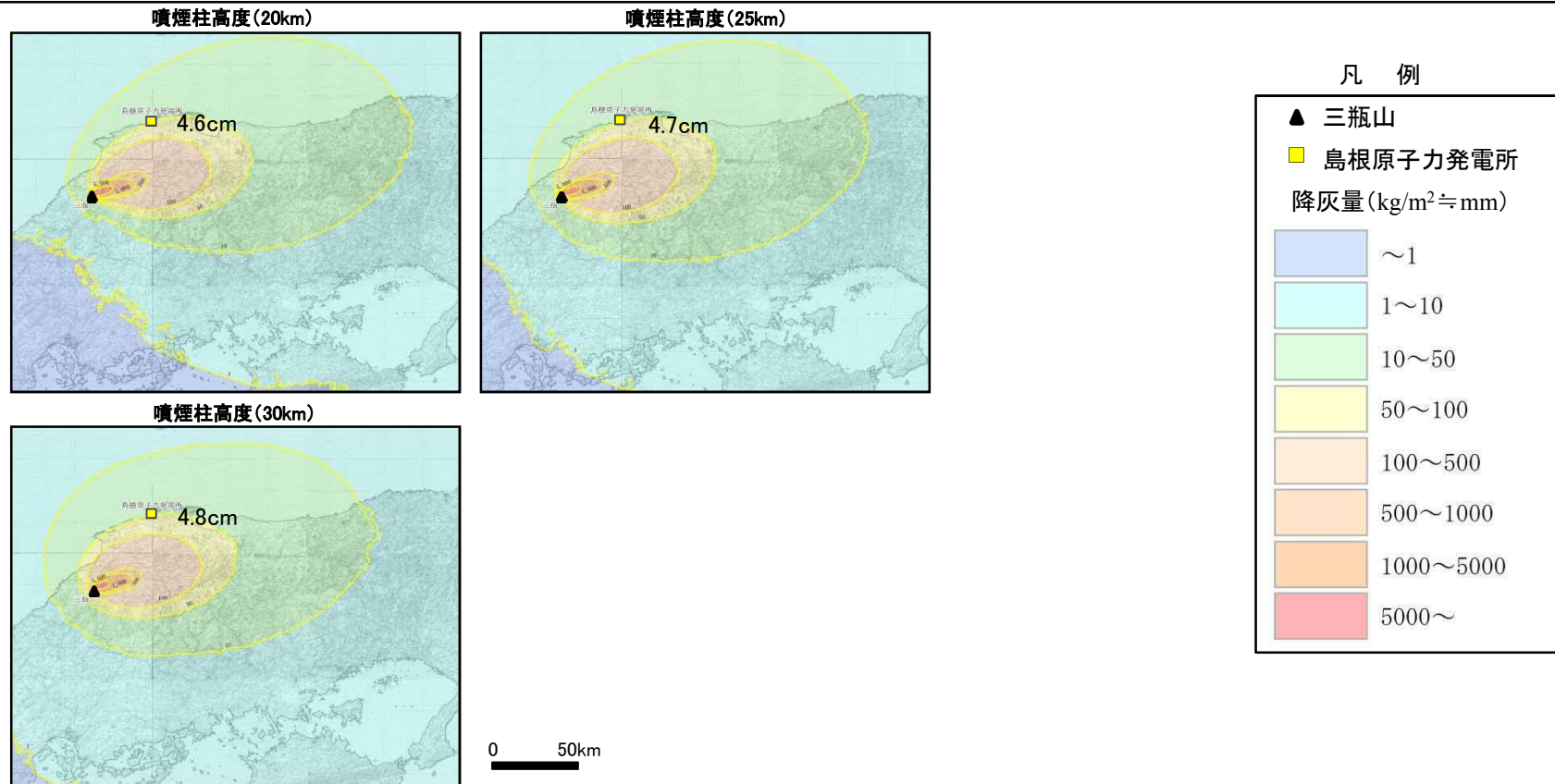


密度の不確かさを考慮した検討として、岩片・軽石粒子密度を均一とした火山灰シミュレーションを実施した結果、敷地における降灰層厚は、基本ケースの4.7cmに対し、密度1,000kg/m<sup>3</sup>の場合では4.2cm、密度2,600kg/m<sup>3</sup>の場合では4.1cmとなった。

# 三瓶山に関する火山灰シミュレーション(不確かさ⑤<噴煙柱高度>)

## 噴煙柱高度の不確かさを考慮した検討結果

噴煙柱高度の不確かさを考慮した検討として, L.G. Mastin et al. (2009)に示される噴煙柱高度の回帰式より設定した噴煙柱高度27kmに対し, 噴火規模VEI5相当の総噴出量(1~10km<sup>3</sup>)に対応する噴煙柱高度(回帰式)は23~30kmであることから, 20km, 25km, 30kmを設定したケースの検討を実施した。

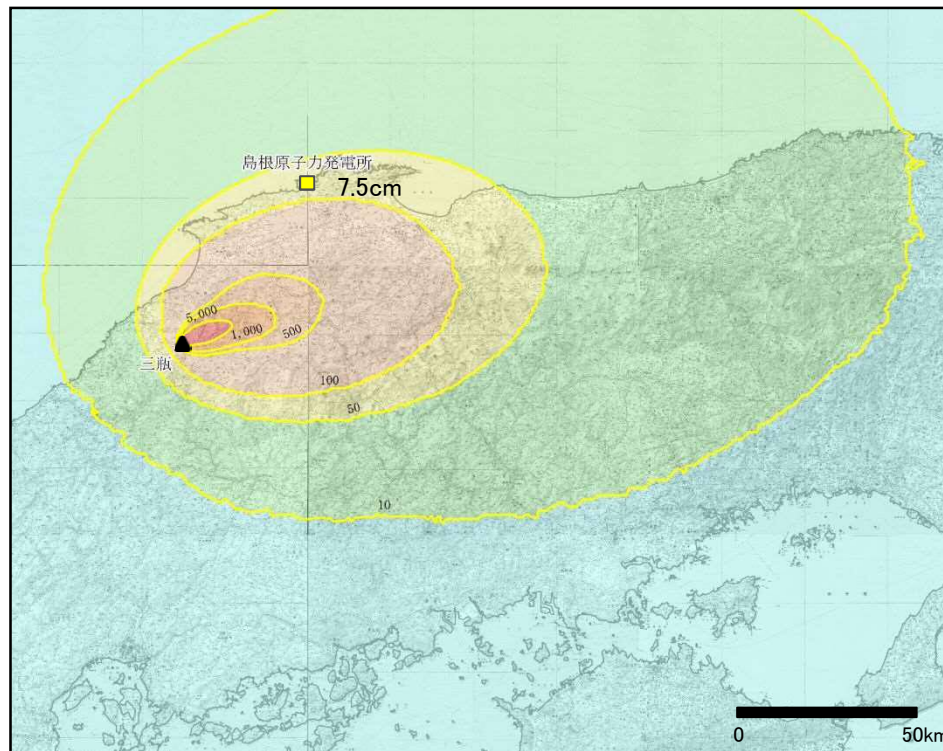


噴煙柱高度の不確かさを考慮した検討として, 噴煙柱高度を変化させた火山灰シミュレーションを実施した結果, 敷地における降灰層厚は, 基本ケースの4.7cmに対し, 噴煙柱高度20kmの場合では4.6cm, 25kmの場合では4.7cm, 30kmの場合では4.8cmとなった。

## 三瓶山に関する火山灰シミュレーション(火山の活動様式の不確かさ)

### 火山の活動様式の不確かさを考慮した検討結果

火山の活動様式の不確かさを考慮した検討として、三瓶浮布テフラの噴出規模(噴出量 $4.15\text{km}^3$ )に対し、火砕流堆積物主体である三瓶大田(SO<sub>d</sub>)の噴出量 $6.60\text{km}^3$ を考慮したケースの検討を実施した。



凡 例

▲ 三瓶山

■ 島根原子力発電所

降灰量 ( $\text{kg}/\text{m}^2 \div \text{mm}$ )

~1

1~10

10~50

50~100

100~500

500~1000

1000~5000

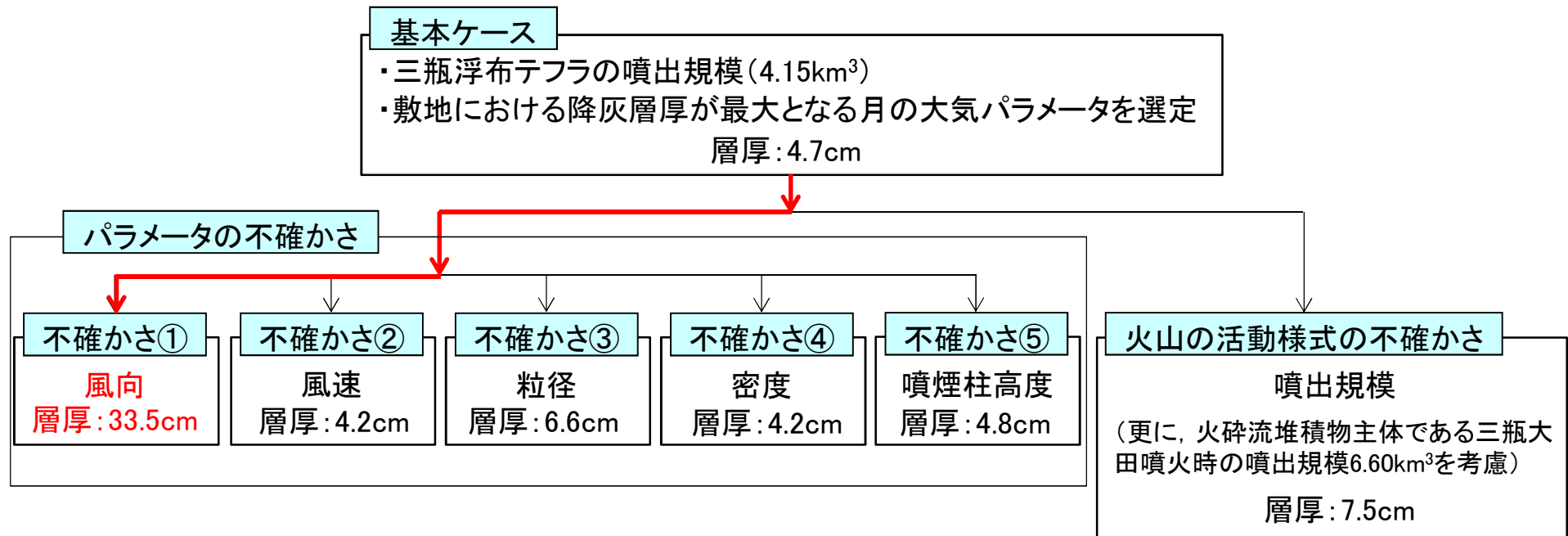
5000~

火山の活動様式の不確かさを考慮した検討として、火砕流堆積物主体である三瓶大田(SO<sub>d</sub>)の噴出規模を考慮した火山灰シミュレーションを実施した結果、敷地における降灰層厚は、基本ケースの4.7cmに対し7.5cmとなった。

## 三瓶山に関する火山灰シミュレーション結果(不確かさの考慮)

- ・原子力発電所の運用期間中の規模として、木次降下軽石以外の噴火の中で降下火砕物として最大規模となる三瓶浮布テフラ(噴出量 $4.15\text{km}^3$ )を想定した火山灰シミュレーションの結果、偏西風の弱まる8月の降下量が最大となり、敷地における降灰層厚は $4.7\text{cm}$ となった。
- ・8月の大気パラメータを用いたシミュレーションを不確かさを考慮する際の基本ケースとし、パラメータの不確かさを考慮して降灰層厚への影響について検討した結果、降灰層厚への影響が大きいパラメータは風向であり、風向の不確かさ(敷地方向への仮想風)を考慮した検討において、敷地における降灰層厚は $33.5\text{cm}$ となった。
- ・火山の活動様式の不確かさとして火砕流堆積物主体である三瓶大田の噴出規模 $6.60\text{km}^3$ を考慮した検討を実施した結果、敷地における層厚は $7.5\text{cm}$ となった。

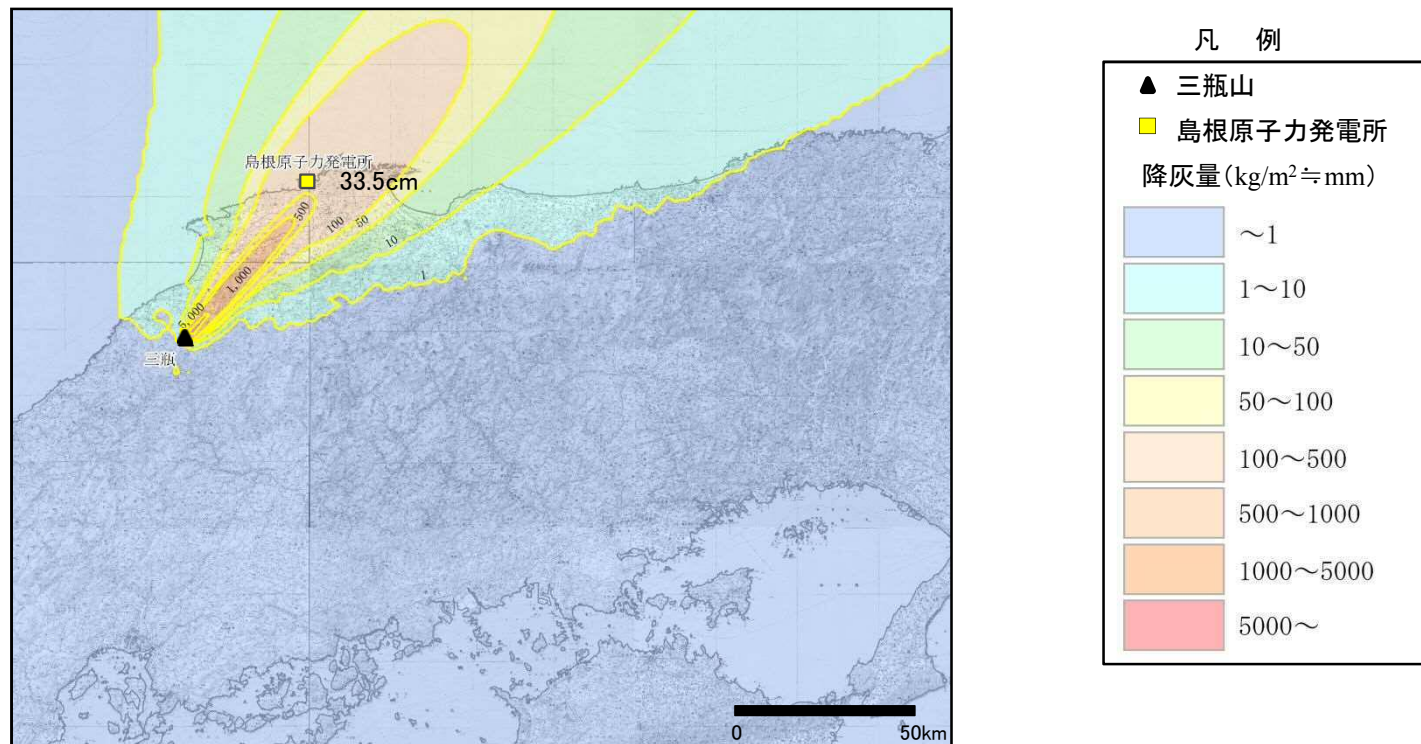
・風向の不確かさを考慮した検討において、敷地における降灰層厚が最大となることから、ジオポテンシャル高度による大気パラメータにより火山灰シミュレーションを実施し、標準高度による大気パラメータを用いた火山灰シミュレーション結果の妥当性を確認する。



## 三瓶山に関する火山灰シミュレーション(不確かさ①<風向>の妥当性確認)

### 風向の不確かさを考慮した検討結果(ジオポテンシャル高度による大気パラメータ)

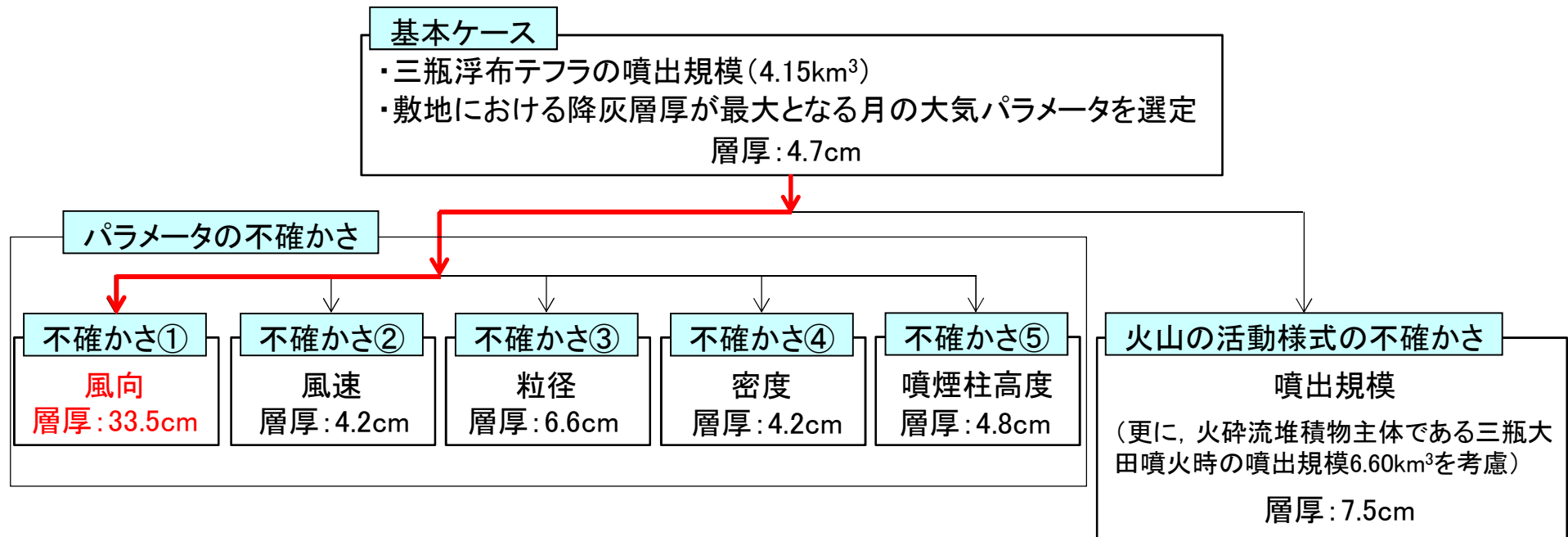
風向の不確かさを考慮した検討において、敷地における降灰層厚が最大となることから、ジオポテンシャル高度による大気パラメータにより火山灰シミュレーションを実施し、標準高度による大気パラメータを用いた火山灰シミュレーション結果の妥当性を確認した。



ジオポテンシャル高度による大気パラメータにより火山灰シミュレーションを実施した結果、敷地における降灰層厚は、標準高度による場合と同程度の33.5cmとなることが確認された。

## 三瓶山に関する火山灰シミュレーション結果(まとめ)

原子力発電所の運用期間中の規模として、木次降下軽石以外の噴火の中で降下火砕物として最大規模となる三瓶浮布テフラ(噴出量 $4.15\text{km}^3$ )を想定し、各種の不確かさを考慮した火山灰シミュレーションにより降下火砕物の影響評価を行った。



・原子力発電所の運用期間中の規模として、木次降下軽石以外の噴火の中で降下火砕物として最大規模となる三瓶浮布テフラ(噴出量 $4.15\text{km}^3$ )を想定し、パラメータの不確かさを考慮して降灰層厚への影響について検討した結果、降灰層厚への影響が大きいパラメータは風向である。

・風向の不確かさを考慮した検討として敷地方向への仮想風を考慮した火山灰シミュレーションを実施した結果、敷地における層厚は $33.5\text{cm}$ となった。

・火山の活動様式の不確かさとして火砕流堆積物主体の三瓶大田の噴出規模 ( $6.60\text{km}^3$ )を考慮した火山灰シミュレーションを実施した結果、敷地における層厚は $7.5\text{cm}$ となった。

【降下火砕物の層厚評価における想定噴火規模】

- ・噴火履歴による検討結果等によると、原子力発電所の運用期間中には、木次降下軽石のような広域火山灰を降下させる規模の噴火を起こす可能性は極めて低いと考えられる。
- ・原子力発電所の運用期間中の規模として、木次降下軽石以外の噴火の中で降下火砕物として最大規模となる浮布降下火山灰(噴出量 $4.15\text{km}^3$ )の噴火の可能性を考慮する。

【文献調査結果・地質調査結果】

- ・地質調査の結果、敷地は三瓶木次テフラ(SK)の等層厚線で10cm程度の範囲に位置している。また、敷地では降下火砕物は確認されていない。
- ・三瓶浮布テフラ(SUK)は、敷地及び敷地近傍では確認されていない。

【火山灰シミュレーション結果】

- ・風向の不確かさを考慮した検討として敷地方向への仮想風を考慮した火山灰シミュレーションを実施した結果、敷地における層厚は33.5cmとなった。
- ・火山の活動様式の不確かさとして火砕流堆積物主体の三瓶大田の噴出規模 $6.60\text{km}^3$ を考慮した火山灰シミュレーションを実施した結果、敷地における層厚は7.5cmとなった。
- ・火山灰シミュレーションの結果、敷地における降灰層厚は最大33.5cmとなることから、敷地における層厚は35cmと評価する。



原子力発電所の運用期間中の規模として想定した三瓶浮布テフラ(噴出量 $4.15\text{km}^3$ )について、風向の不確かさ等を十分に考慮した場合のシミュレーション結果33.5cmを踏まえ、敷地における降下火砕物の層厚を35cmとする。

余白



No.	説明事項	説明方針
2	大山生竹テフラの噴出規模に関する新知見等を踏まえた検討について	大山生竹テフラの噴出規模に関する新知見等を踏まえ、大山の降下火砕物の影響評価を行う。

1. 大山生竹テフラの噴出規模に関する新知見等を踏まえた検討について.....	58
2. 大山の降下火砕物の分布に関する調査.....	59
3. 大山の噴火規模の想定.....	62
3. 1 噴火履歴の検討.....	62
3. 2 マグマ供給系に関する検討.....	79
3. 3 地球物理学的調査.....	83
3. 4 噴火規模の想定.....	85
4. 大山に関する火山灰シミュレーション.....	87
5. 大山の降下火砕物の影響評価.....	107

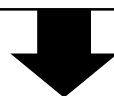
1. 大山生竹テフラの噴出規模に関する新知見等を踏まえた検討について  
大山生竹テフラの噴出規模に関する新知見等を踏まえた検討について

第827回審査会合  
資料1-2-1 P1 再掲

58

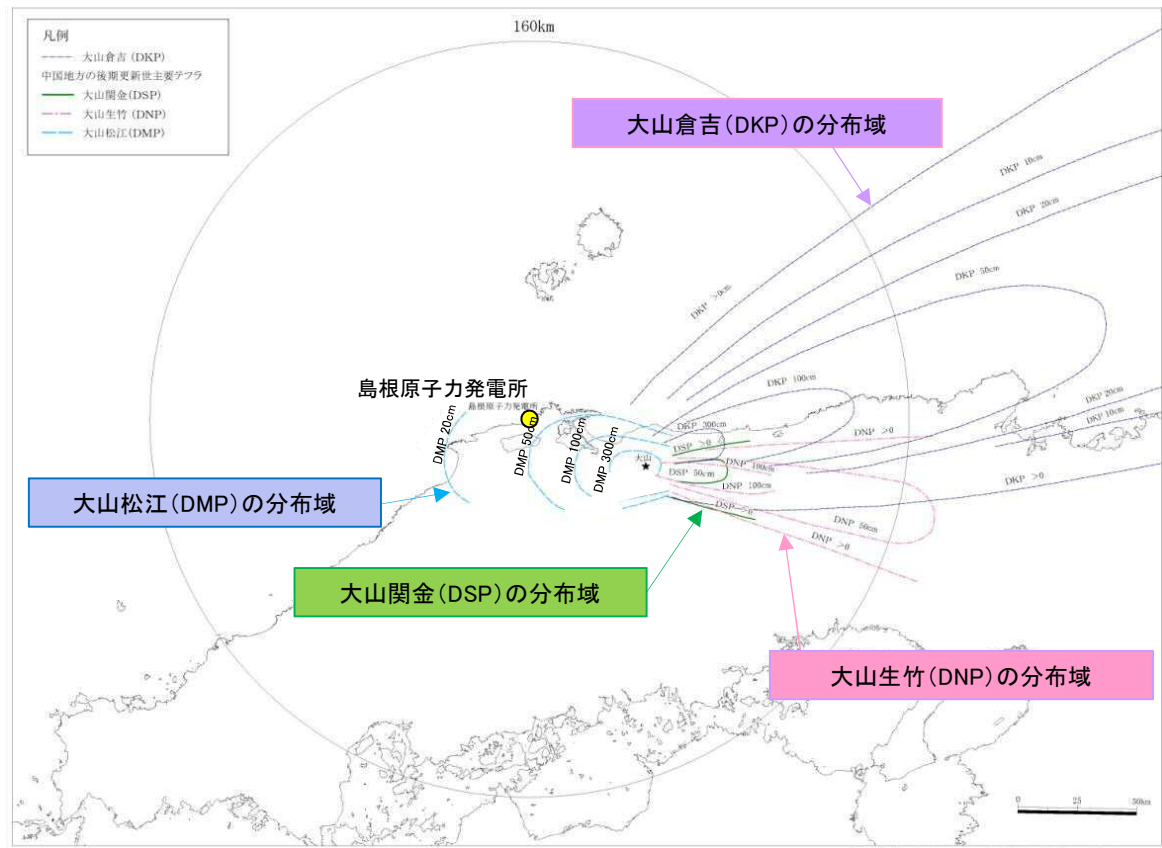
【大山生竹テフラの噴出規模に関する新知見】

- ・平成30年11月21日に開催された第42回原子力規制委員会において、生竹軽石(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 $10\text{km}^3$ 以上と考えられることが新知見として認定された。
  - ・平成31年4月17日に開催された第4回原子力規制委員会において、生竹軽石(DNP)の噴出規模に関する事実認定がなされた。
- ①生竹軽石(DNP)の噴出規模は $11.0\text{km}^3$ 程度と見込まれること。
  - ②生竹軽石(DNP)と倉吉軽石(DKP)が一連の巨大噴火であるとは認められず、前記噴出規模の生竹軽石(DNP)は火山影響評価において考慮すべき自然現象であること。



大山生竹テフラの噴出規模に関する新知見等を踏まえ、大山の降下火砕物の影響評価を行う。

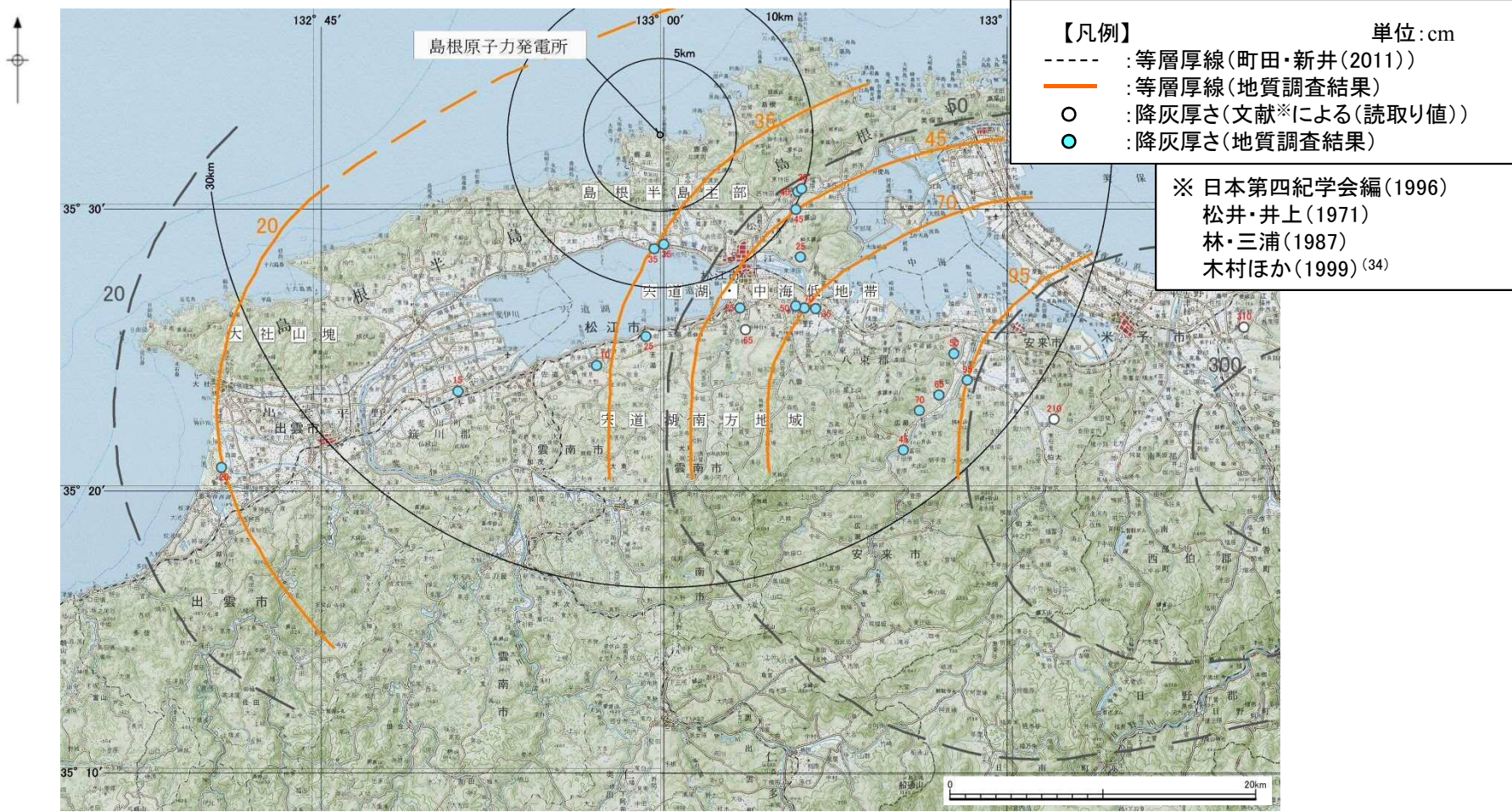
- ・町田・新井(2011)によると, 大山松江(DMP)は敷地に到達(層厚:概ね20~50cm)しているとされており, 分布主軸を火山の西方に伸ばす珍しい分布域をもつテフラとされている。
- ・大山倉吉(DKP), 大山生竹(DNP)及び大山関金(DSP)は敷地に到達していないとされている。



町田・新井(2011)よりテフラの等層厚線を引用・加筆

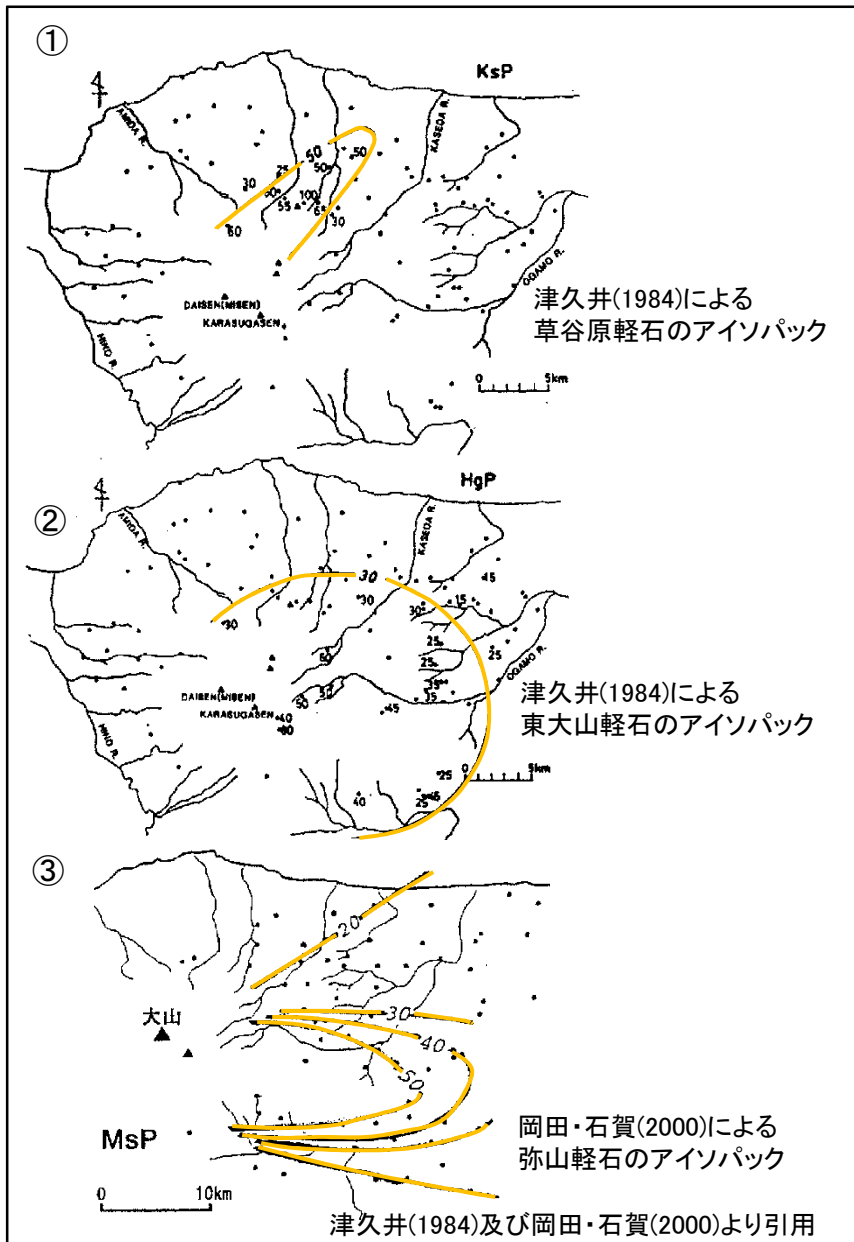
# 大山の降下火砕物の分布に関する調査(文献調査)

文献調査により敷地周辺で確認されている大山松江テフラ(DMP)について、敷地周辺における層厚を確認するための地質調査を行った。降灰厚さの評価に用いた地点及びこれに基づく等層厚線を示す。



地質調査の結果、敷地周辺の層厚は概ね文献と同等であり、敷地は等層厚線20~35cmに位置し、大山松江テフラ(DMP)の敷地における層厚は30cm程度と推定される。また、敷地では降下火砕物は確認されていない。

# 大山の降下火砕物の分布に関する調査(文献調査)



- ・弥山ー三鈷山噴火時のテフラについては、最新の知見に基づき、町田・新井(2011)の大山弥山を採用する。
- ・町田・新井(2011)では、大山弥山のアイソパックは示されていないが、以下の文献調査結果から大山弥山は敷地まで到達していないと考えられる。
- (1) 津久井(1984)<sup>(35)</sup>に示される①草谷原軽石層、②東大山軽石層のアイソパック、及び岡田・石賀(2000)<sup>(36)</sup>に示される③弥山軽石のアイソパックによると、これらの大山テフラは敷地まで到達していないとされる。
- (2) 加藤ほか(2004)<sup>(37)</sup>によると、上記の降下火砕物は、町田・新井(2003)<sup>(38)</sup>に示される大山弥山(町田・新井(2011)に同じ)に対比されている。
- ・敷地周辺において当社で実施した地質調査においては、弥山ー三鈷山噴火時の降下火砕物は確認されていない。

大山テフラの層序区分とその対比

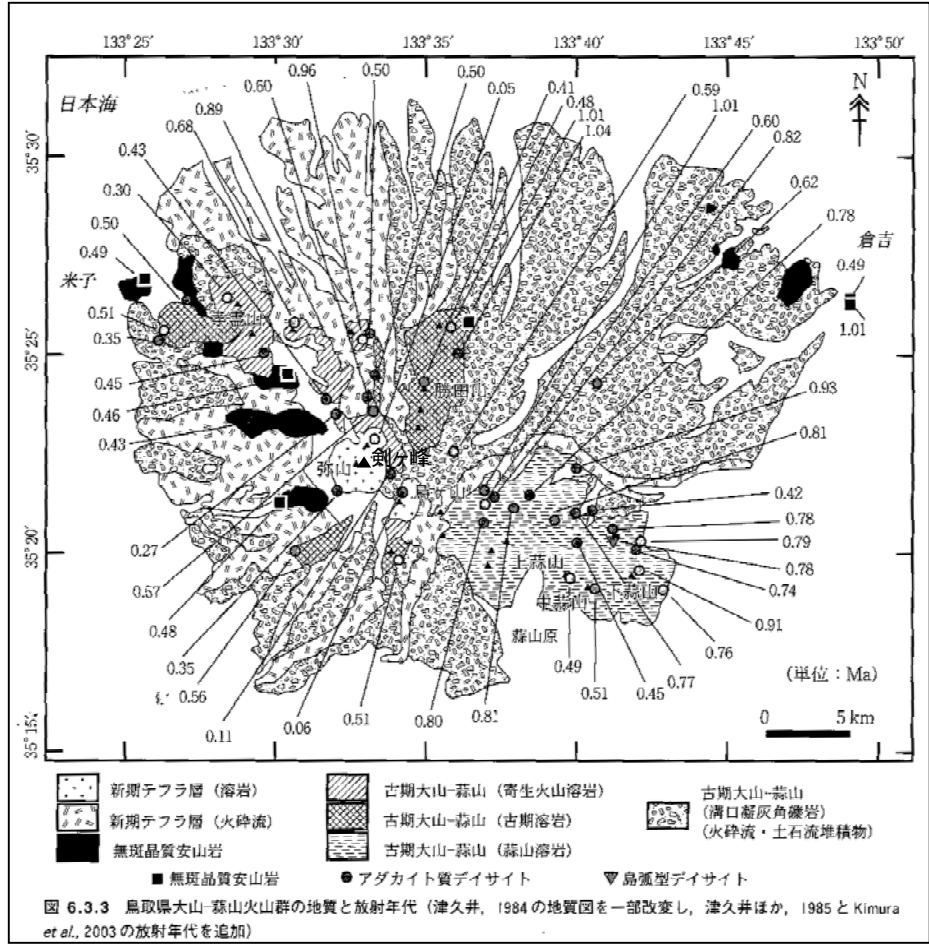
	津久井(1984)	岡田・石賀(2000)	町田・新井(2011)
新しい			大山鏡ヶ平(DKg)
い	弥山火砕流堆積物(MiF)	弥山火砕流(MiF)	
	① 草谷原軽石層(KsP)	草谷原軽石(KsP)	大山弥山(DMs)
	② 東大山軽石層(HgP)	③ 弥山軽石(MsP)	
古い	東大山火山灰層(HgA)	上のホーキ(Uh)	大山東大山(DHg)
	笹ヶ平火砕流堆積物(SaF)	オドリ火山砂(Od)	大山笹ヶ平(DSs)
	笹ヶ平火山灰層(SaA)	下のホーキ(Sh)	
		<始良Tn火山灰(AT)>	

加藤ほか(2004)を元に修正・追記

### 3. 大山の噴火規模の想定 3.1 噴火履歴の検討

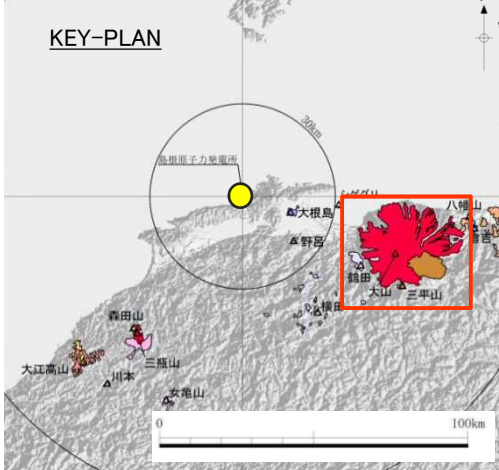
## 大山の噴火履歴の検討(大山の概要)

- ・敷地の東南東約53kmに位置し、最大標高約1,729mの剣ヶ峰を最高峰とする。東西約35km, 南北約30km, 総体積約120km<sup>3</sup>を超える大型の複成火山で、日本海から下蒜山までの間に分布する複数の火山からなるとされている。
- ・噴出物は古期と新期に区分され、古期噴出物は厚い溶岩流, 新期噴出物は軽石層や火山灰層, 火砕流堆積物及び溶岩円頂丘からなる。



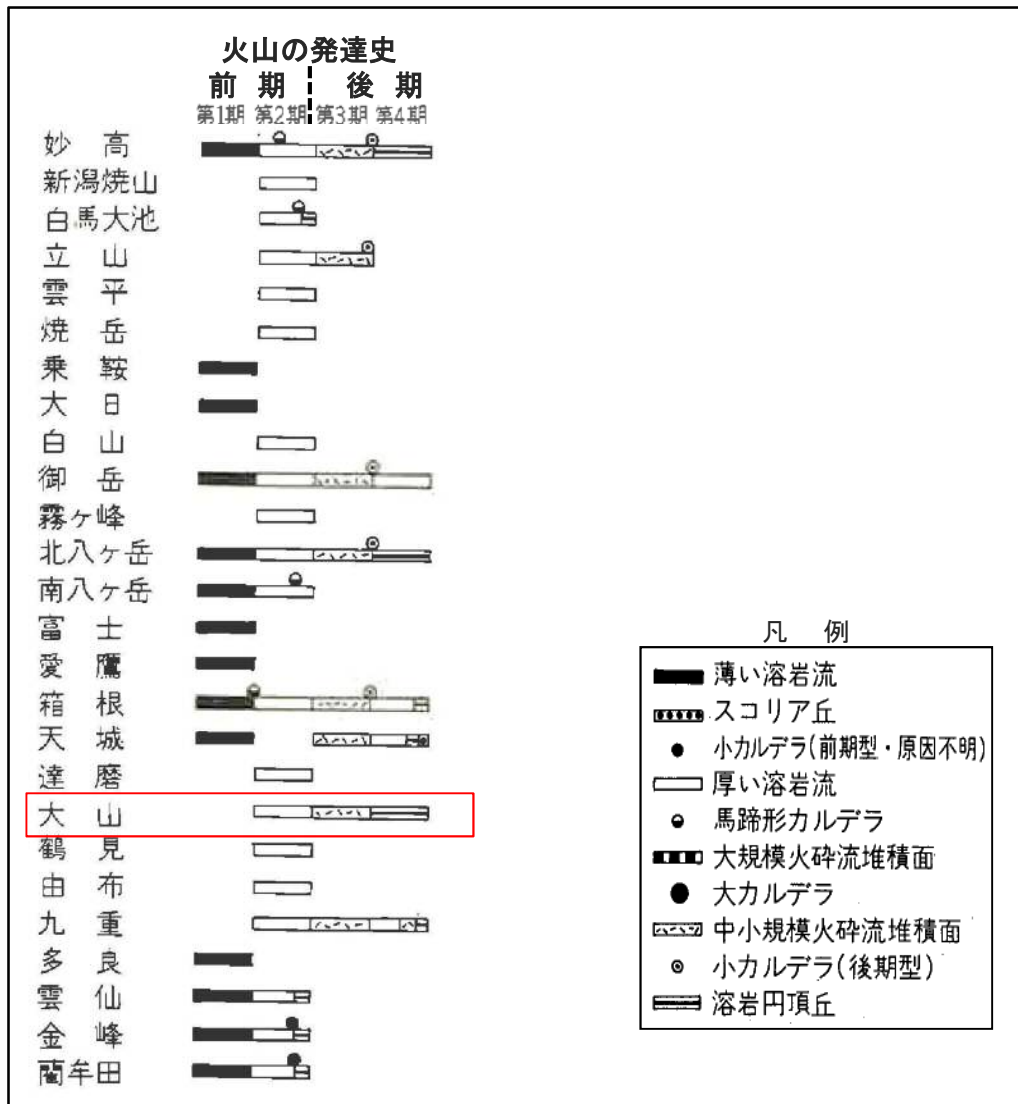
**火山形式**  
溶岩ドームと火砕丘及び溶岩流  
地質調査総合センター(2013)による

**主な岩石**  
デイサイト, 安山岩  
地質調査総合センター(2013)による

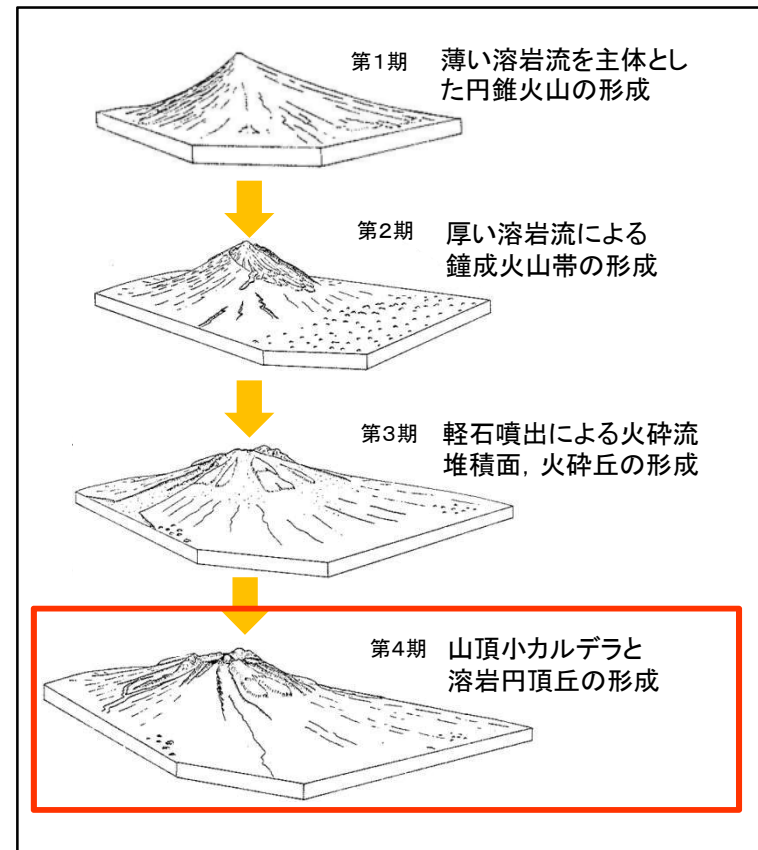


日本地質学会編(2009)より引用

# 大山の噴火履歴の検討(地形発達史)



守屋(1983)より引用・加筆

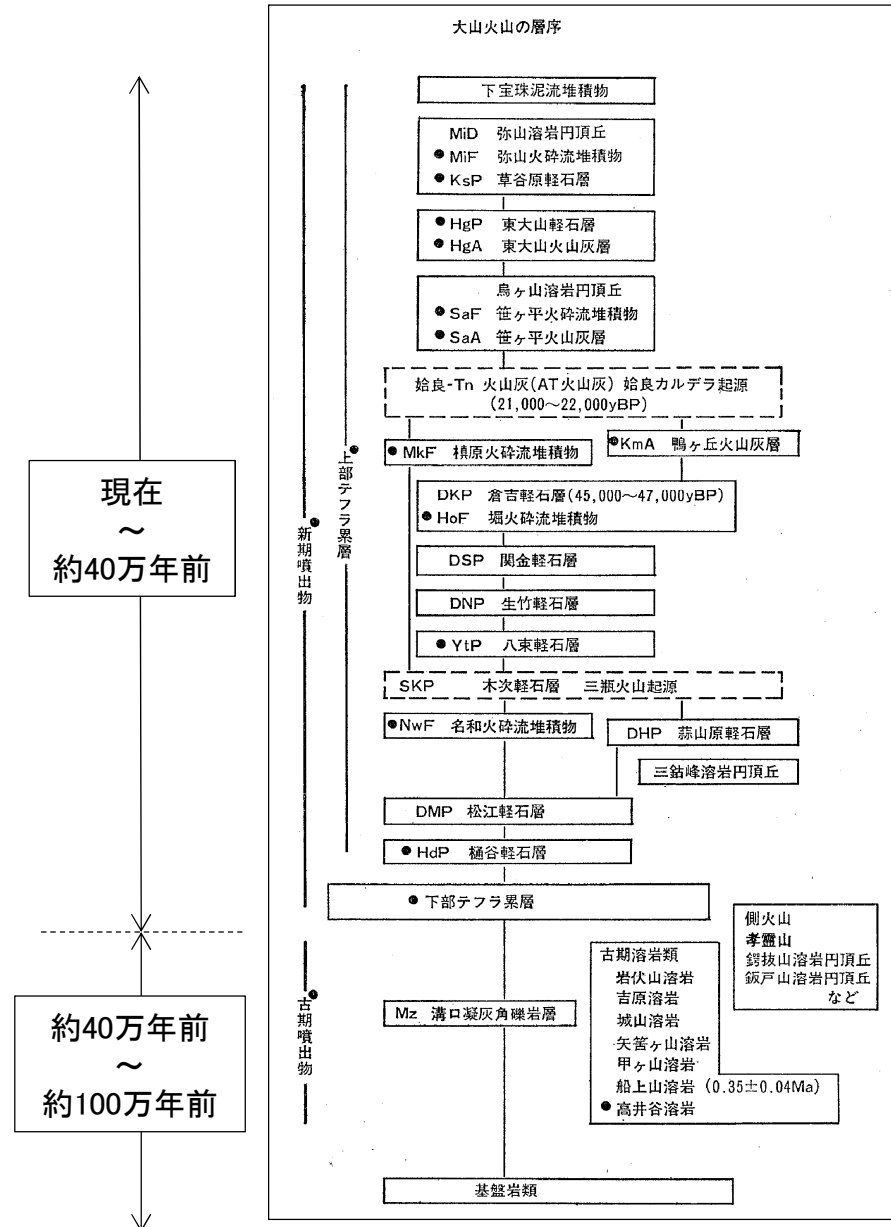


守屋(1983)より引用・加筆

- ・守屋(1983)<sup>(39)</sup>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、大山が分類される円錐火山は、火山地形に応じて、前期(第1期と第2期)と後期(第3期と第4期)の2期にまとめられている。
- ・大山は、現在は火山活動の末期である第4期の溶岩円頂丘が発達しているとし、後期型円錐火山とされている。



# 大山の噴火履歴の検討(活動形態の変遷)



津久井(1984) より引用・加筆

津久井ほか(1985)<sup>(40)</sup>による大山の火山活動は以下のとおりである。

### 【約100万年前～約40万年前(古期噴出物)】

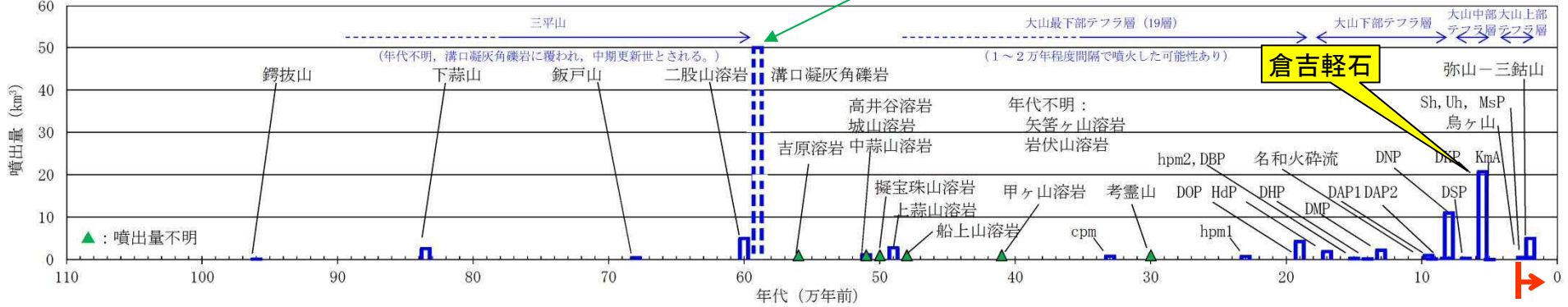
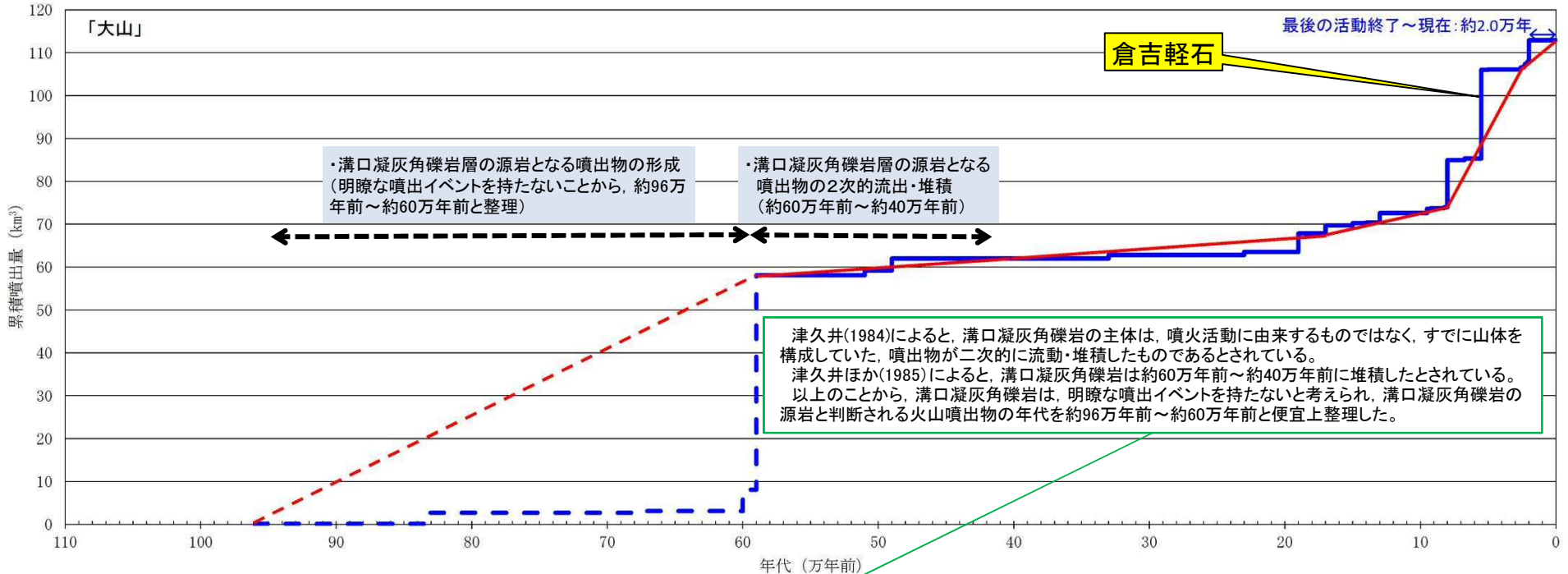
約100万年前の溶岩円頂丘形成や溶岩流出から始まり、約60万年前から約40万年前にかけて、現在の大山の骨格の大部分を形成した活動(古期溶岩類、溝口凝灰角礫岩層等)があるとされている。

なお、溝口凝灰角礫岩層の主体は、噴火活動に直接由来するものではなく、すでに山体を構成していた噴出物が、二次的に流動・堆積したものと考えられるとしている。

### 【約40万年前～現在(新时期噴出物)】

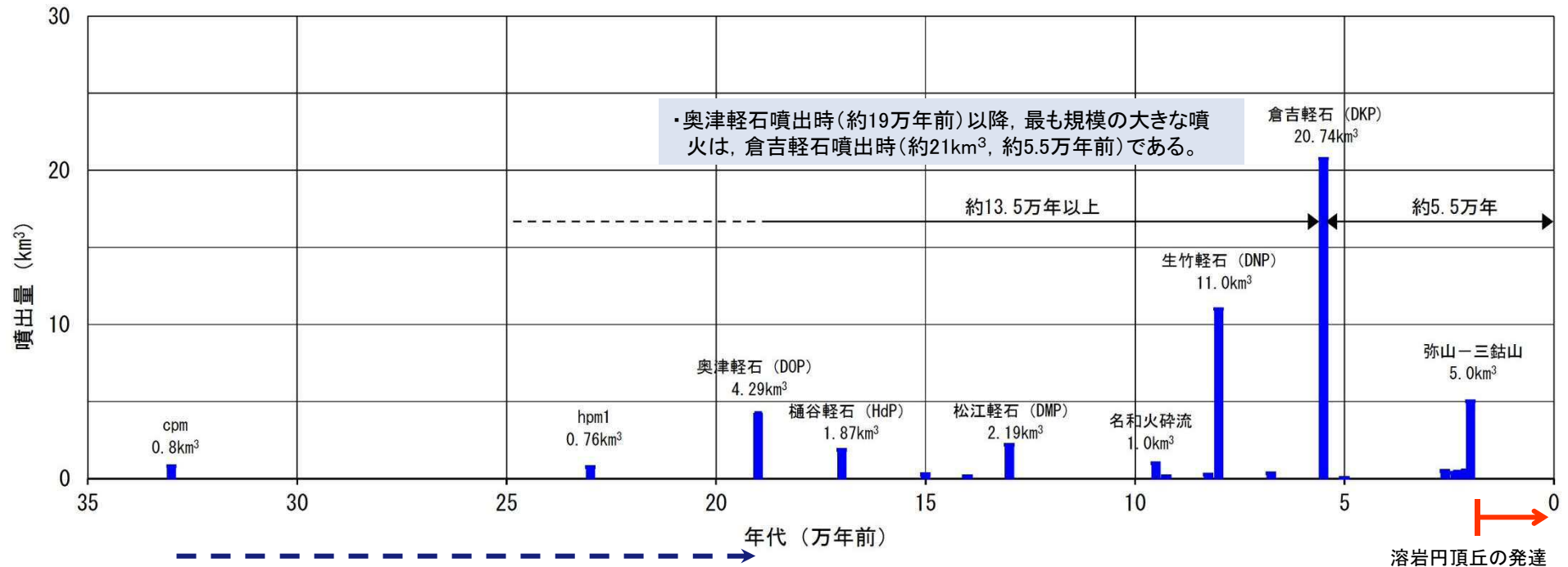
約40万年前以降に繰返した爆発的噴火は、長期間の噴火休止期間が無く、1万年～数万年ごとに大規模な噴火を繰返したとされている。

# 大山の噴火履歴の検討(階段ダイヤグラム)



溶岩円頂丘の発達

# 大山の噴火履歴の検討(新期噴出物の噴火履歴)



・奥津軽石噴出時(約19万年前)以降, 最も規模の大きな噴火は, 倉吉軽石噴出時(約21km³, 約5.5万年前)である。

岡田・石賀(2000)によると, 新期噴出物のうち奥津軽石の下位に続くテフラについては, 今のところその詳細はまったく不明であるとされている。

(第四紀火山カタログ編集委員会(1999), 須藤ほか(2007), 原子力規制委員会(2019)<sup>(41)</sup>, 関西電力(2019)<sup>(42)</sup>に基づき作成)

・溝口凝灰角礫岩の堆積以降において, 最も規模の大きな噴火は倉吉軽石(DKP)噴出時である。  
 ・約40万年前以降, 噴火規模の最も大きな倉吉軽石規模の噴火までの期間(約34.5万年)は, 最新の噴火からの経過時間(約5.5万年)に比べ十分に長い。更に, 奥津軽石(約19万年前)の噴火から倉吉軽石規模の噴火までの期間(約13.5万年)を見積もっても, 最新の噴火からの経過時間(約5.5万年)に比べ十分に長いことから, 原子力発電所の運用期間中には, 倉吉軽石のような広域火山灰を降下させる規模の噴火を起こす可能性は極めて低いと考えられる。  
 ・一方, それ以外の噴火については, 倉吉軽石噴出時以前もしくは以降においても繰り返し発生している。

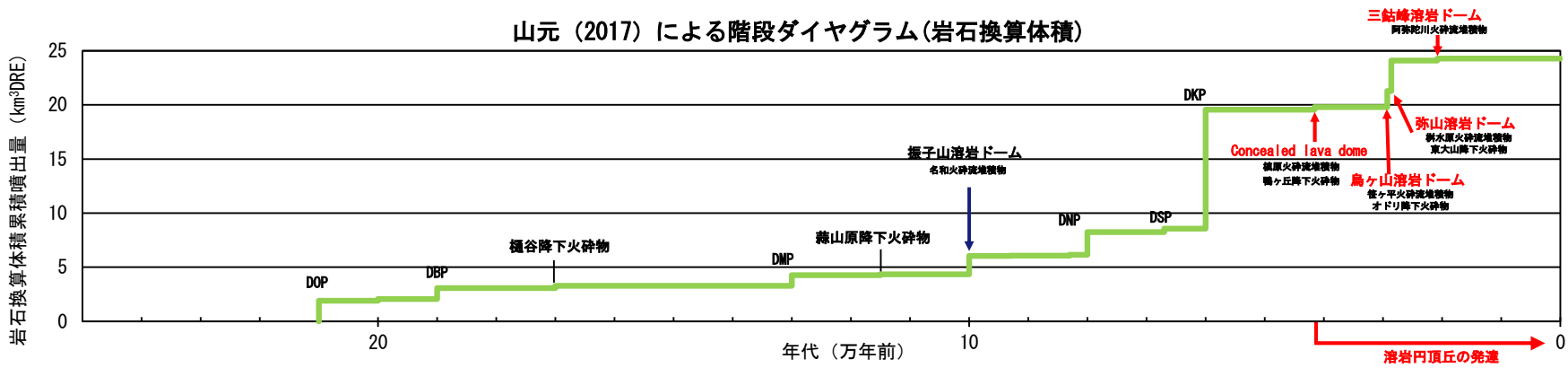
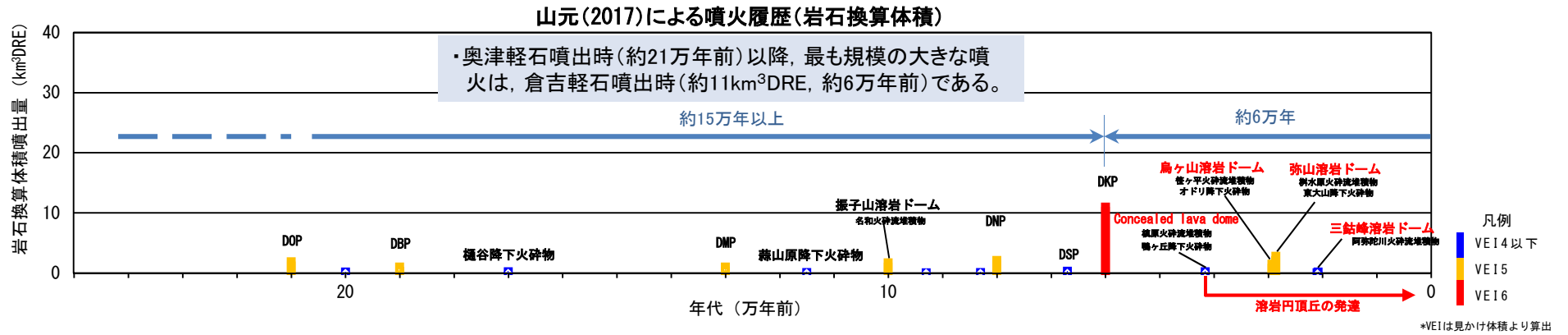
- ・平成29年3月に大山を対象とした噴火履歴に関する論文(山元(2017)<sup>(43)</sup>)が発表された。
- ・山元(2017)は、大山の過去約20万年間の噴出物層序の再構築とマグマ噴出量の再計測を行い、Legros(2000)<sup>(44)</sup>の手法(以下、Legros法)に統一した岩石換算噴出量を用いた噴火履歴及び階段ダイヤグラムを作成し、大山の長期的な活動について報告している。

第3表 大山火山噴出物の岩石換算体積. DKPの年代は長橋ほか(2016), DSPからDBPの年代は山元(2015)のコンパイルによる. 他の噴出物の年代の引用は本文を参照のこと.

Table 3 Dense-rock equivalent volume for the products of Daisen Volcano. Eruption ages for DKP and DSP to DBP are based by Nagahashi *et al.* (2016) and compiled data in Yamamoto (2015), respectively. See text for references of other product ages.

Age (ka)	Lava (km <sup>3</sup> DRE)	Pyroclastic flow (km <sup>3</sup> DRE)	Pyroclastic fall (km <sup>3</sup> DRE)	Total (km <sup>3</sup> DRE)
20.8	Sankoho 1.5 × 10 <sup>-1</sup>	Amidagawa 6.7 × 10 <sup>-3</sup>		1.6 × 10 <sup>-1</sup>
21			Kusatanihara 3.4 × 10 <sup>-2</sup>	3.4 × 10 <sup>-2</sup>
28.6	Misen 1.9 × 10 <sup>0</sup>	Masumizuhara 7.3 × 10 <sup>-1</sup>	Higashidaisen 1.3 × 10 <sup>-1</sup>	2.8 × 10 <sup>0</sup>
29.3	Karasugasen 7.2 × 10 <sup>-2</sup>	Sasaganaru 1.0 × 10 <sup>0</sup>	Odori 4.4 × 10 <sup>-1</sup>	1.5 × 10 <sup>0</sup>
41.6		Makibara 1.9 × 10 <sup>-1</sup>	Kamogaoka 3.5 × 10 <sup>-2</sup>	2.3 × 10 <sup>-1</sup>
60			Kurayoshi (DKP) 1.1 × 10 <sup>1</sup>	1.1 × 10 <sup>1</sup>
67			Sekigane (DSP) 3.0 × 10 <sup>-1</sup>	3.0 × 10 <sup>-1</sup>
80			Namatake (DNP) 2.1 × 10 <sup>0</sup>	2.1 × 10 <sup>0</sup>
83			Arata 2 8.0 × 10 <sup>-2</sup>	8.0 × 10 <sup>-2</sup>
93			Arata 1 2.4 × 10 <sup>-2</sup>	2.4 × 10 <sup>-2</sup>
100	Furikosen 3.6 × 10 <sup>-1</sup>	Nawa 1.3 × 10 <sup>0</sup>		1.7 × 10 <sup>0</sup>
115			Hiruzenbara 8.7 × 10 <sup>-2</sup>	8.7 × 10 <sup>-2</sup>
130			Matsue (DMP) 9.9 × 10 <sup>-1</sup>	9.9 × 10 <sup>-1</sup>
170			Hidani 2.2 × 10 <sup>-1</sup>	2.2 × 10 <sup>-1</sup>
190			Bessho (DBP) 1.0 × 10 <sup>0</sup>	1.0 × 10 <sup>0</sup>
200			HPM2 1.6 × 10 <sup>-1</sup>	1.6 × 10 <sup>-1</sup>
210			Okutsu (DOP) 1.9 × 10 <sup>0</sup>	1.9 × 10 <sup>0</sup>

山元(2017)より引用・加筆



Legros法に統一した岩石換算噴出量を基に噴火履歴を検討した結果, 倉吉軽石(DKP)と倉吉軽石(DKP)以外の噴出量との関係は, 倉吉軽石(DKP)のみが突出して大きい。

# 大山の噴火履歴の検討(大山生竹テフラの噴出規模に関する評価)

関西電力  
と同様

第1回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資料1-2 P6 加筆・修正

DNPの噴出規模の算出方法について 以下のP69～P78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、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、第827回審査会合資料1-2-2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、第827回審査会合資料1-2-2のとおり。

## 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

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	大山池	200cm
	上斎原(石越)	100cm
	上斎原(中津河)	150cm
	瀬川山	10～15cm
	越畑	25cm
	水月湖	なし
	琵琶湖高島沖	5cm
文献に示される7地点	倉吉市服部	45cm
	倉吉市倅谷・般若	110cm
	関金町荒田	115cm
	関金町関金宿・三朝町福本	220cm
	中和村別所	50cm
	人形峠	120cm
	上斎原村恩原貯水池南	120cm

・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

# 大山の噴火履歴の検討(大山生竹テフラの噴出規模に関する評価)

関西電力  
と同様

第1回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  
資料1-2 P11 再掲

## 等層厚線図に用いた降灰層厚情報のまとめ

ODNP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<sup>かせだに</sup>悴谷・般若地点、<sup>いしごし</sup>大山池地点、<sup>なかつこう</sup>上斎原(石越)地点、<sup>なかつこう</sup>上斎原(中津河)地点、<sup>かみさいばらそんおんばら</sup>関金町荒田地点、<sup>かせだに</sup>関金宿・福本地点、<sup>かせだに</sup>人形峠地点及び<sup>かせだに</sup>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、<sup>かせだに</sup>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。
- ・<sup>かせだに</sup>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>



ちゅうかそん

- ・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。

# 大山の噴火履歴の検討(大山生竹テフラの噴出規模に関する評価)

関西電力  
と同様

第1回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資料1-2 P18 再掲

<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出する方法は、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及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、第827回審査会合 資料1-2-2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(km<sup>3</sup>) = 3.69 × 降灰層厚(cm) × 面積(km<sup>2</sup>) 詳細は、第827回審査会合資料1-2-2のとおり

降灰層厚(cm)	25	50	100
面積(km <sup>2</sup> )	3,589	1,646	474
噴出量(km <sup>3</sup> )	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(km<sup>3</sup>) = 12.2 × 降灰層厚(cm) × 面積(km<sup>2</sup>) 詳細は、第827回審査会合資料1-2-2のとおり

降灰層厚(cm)	25	50	100
面積(km <sup>2</sup> )	3,589	1,646	474
噴出量(km <sup>3</sup> )	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、1.8~3.4km<sup>3</sup>、Hayakawa法の場合、5.8~11.0km<sup>3</sup>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10km<sup>3</sup>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、11.0km<sup>3</sup>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

### 3. 2 マグマ供給系に関する検討

## 大山のマグマ供給系に関する検討

#### 【大山マグマの特徴】

・大山マグマの特徴としては典型的アダカイト質であることが知られている。アダカイトとは、火山弧の下に沈み込んだ若くて熱い海洋スラブが部分融解して形成した火山岩で、一般に斜長石、角閃石、黒雲母を含むデイサイトであるが、Yに乏しくSrに富む高Sr/Y比を持つことなど、通常の島弧火山岩とは異なる特徴を持っている。

#### 【大山のマグマ供給系とマグマ組成変化の関係】

・Morris, P. A. (1995) <sup>(45)</sup> ほかによると、大山の位置する山陰地域の地下には、日本列島の中では特異的に中新世の背弧拡大で形成された四国海盆由来のスラブが沈み込んでおり、大山の噴出物のようなアダカイトの成因もこの若いスラブの部分融解に由来するとされている。

・産業技術総合研究所(2018) <sup>(46)</sup> によると、倉吉軽石(DKP)のような噴火が発生するためには、含水量の高い大量のマグマの存在が不可欠であり、この期にスラブメルト指標(Sr/Y比)が低下することは、スラブメルト・マントル反応が進行したものと考えられるとされている。

・産業技術総合研究所(2018)によると、最末期に噴出量が激減するとともに、スラブメルト指標(Sr/Y比)が上昇して、噴火活動を停止していることは、高温マントルの関与が約2万年前の三鈷峰噴出時にはほとんどなくなり、噴火が継続できなかつたと理解できるとされている。 Yamamoto and Hoang (2019) <sup>(47)</sup> によると、同様の化学組成の時系列変化は、K<sub>2</sub>O量、(La/Yb)<sub>n</sub>比、<sup>87</sup>Sr/<sup>86</sup>Sr比、<sup>206</sup>Pb/<sup>204</sup>Pb比でも確認できるとされている。

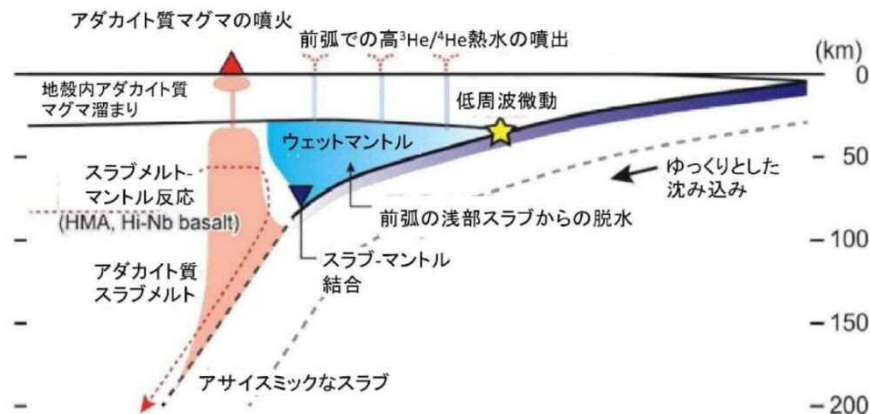
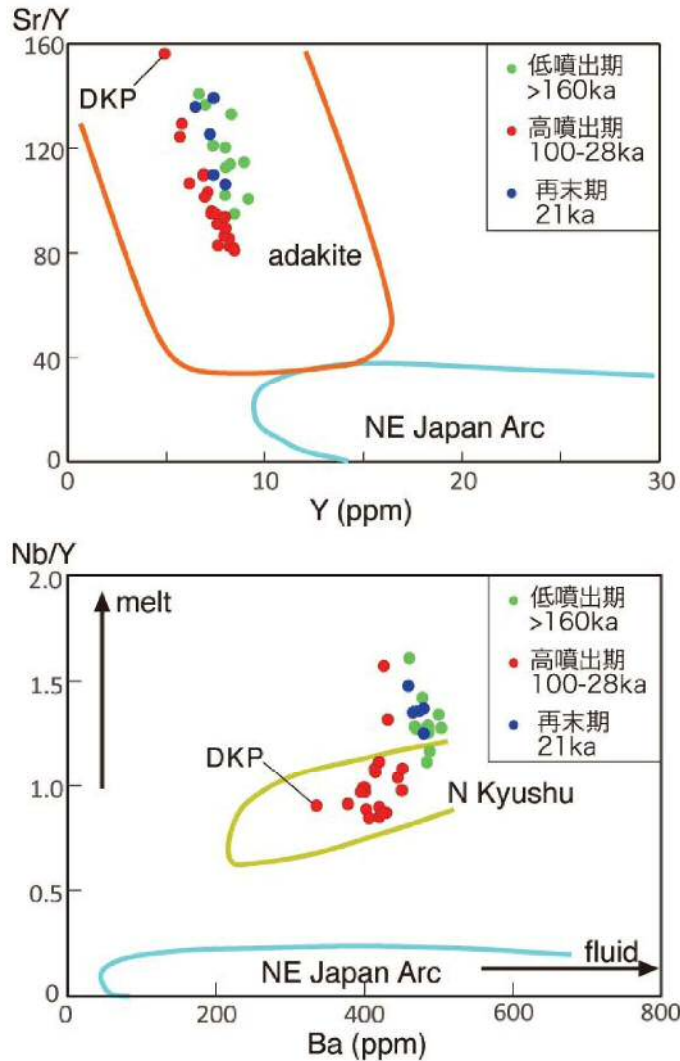


図 2.1.13 西南日本の沈み込み帯におけるマグマ供給系モデル (Kimura et al. (2015) <sup>(39)</sup> に加筆)

Figure 2.1.13 Magma supply system model in the subduction zone of Southwest Japan (Add to Kimura et al., 2015)



# 大山のマグマ供給系に関する検討



・産業技術総合研究所(2018)は、産業技術総合研究所(2017)<sup>(49)</sup>より分析精度を向上させスラブメルト指標であるSr/Y-Yの関係を整理した結果、高噴出期と低噴出期では噴出物が異なる組成トレンドを持つことを明らかにし、両者は異なるSr/Y比を持つ親マグマから分化したことが確実であるとしている。同様に、メルト-流体指標であるNb/Y-Baの関係についても、高噴出期と低噴出期の噴出物は明瞭に異なる領域にプロットされ、DKPも含め高噴出期のものは、北九州地域のマントル由来玄武岩の領域に、低噴出期のものはさらにNb/Y比の大きな領域に分布するとしている。

・産業技術総合研究所(2018)によると、大山のアダカイトの多様性は、マントル-スラブメルト反応の相違を反映したものであり、約10万年前から始まった高温マントルの関与が約2万年前にはほとんどなくなり、噴火が継続できなくなったと理解できるとされている。

第 1.3-3 図 大山火山噴出物の Sr/Y-Y 図及び Nb/Y-Ba 図。北九州地域火山岩の分析値は Hoang and Uto (2003)，東北日本弧の分析値は Kimura and Yoshida (2006)による。

産業技術総合研究所(2018)より引用

# 大山のマグマ供給系に関する検討

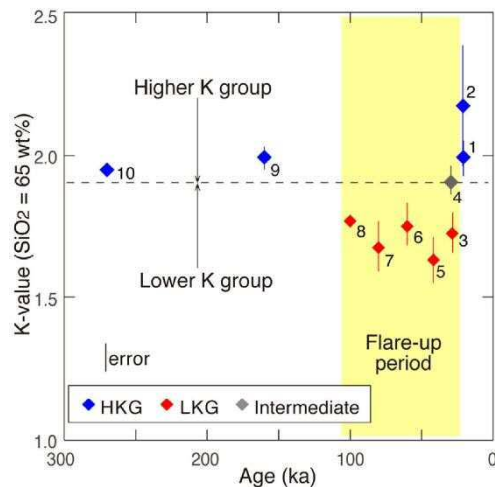


Fig. 6. Temporal variations in K values for the eruptive products of Daisen. The K value indicates the abundance of  $K_2O$  at  $SiO_2 = 65.0$  wt%. HKG = higher K group; LKG = lower K group. The dotted line is a boundary between two groups. 1 = Sankohi Lava + Amidagawa Pyroclastic Flow; 2 = Kusatanihara Pyroclastic Fall; 3 = Misen Lava + Masumizuhara Pyroclastic Flow; 4 = Sasaganaru Pyroclastic Fall; 5 = Makibara Pyroclastic Flow; 6 = Kurayoshi Pyroclastic Fall; 7 = Namatake Pyroclastic Fall; 8 = Nawa Pyroclastic Flow; 9 = Nodagasen Lava + Boryo Pyroclastic Flow; 10 = Old-stage lava.

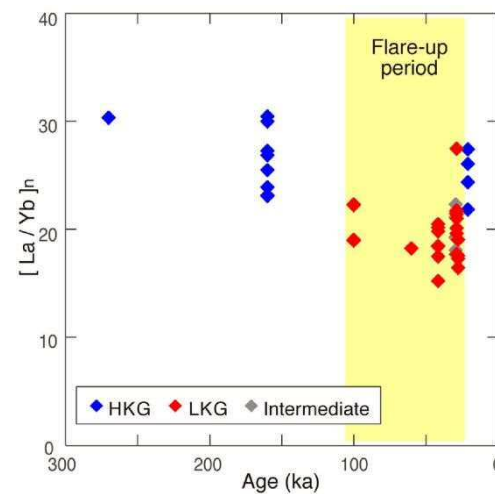


Fig. 9. Temporal variations in chondrite-normalized ratios  $[La/Yb]_n$  for the eruptive products of Daisen. HKG = higher K group; LKG = lower K group. The yellow part is the flare-up period.

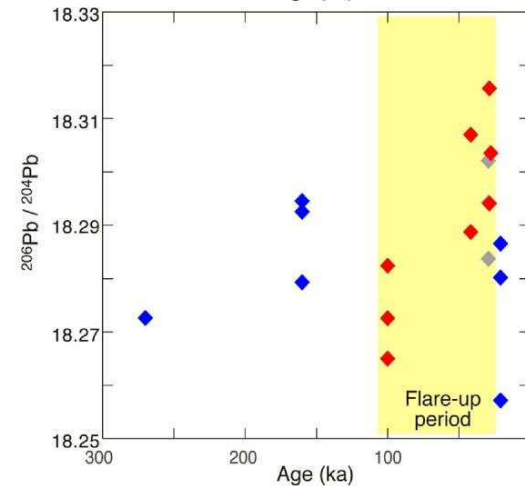
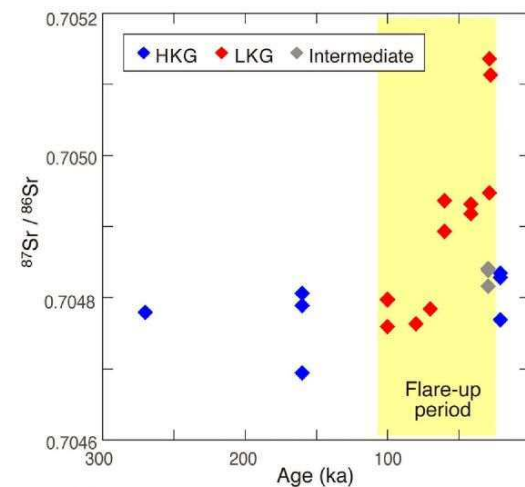


Fig. 11. Temporal variations in  $^{87}Sr/^{86}Sr$  (A) and  $^{206}Pb/^{204}Pb$  (B) for the eruptive products of Daisen. HKG = higher K group; LKG = lower K group. The yellow part is the flare-up period.

・Yamamoto and Hoang (2019) は、大山のアダカイトについて  $K_2O$  量 (K-value) の高いグループ (HKG: Higher K group) と低いグループ (LKG: Lower K group) 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。

・Yamamoto and Hoang (2019) によると、同様の化学組成の時系列変化は、 $K_2O$  量、 $(La/Yb)_n$  比、 $^{87}Sr/^{86}Sr$  比、 $^{206}Pb/^{204}Pb$  比でも確認できるとされている。

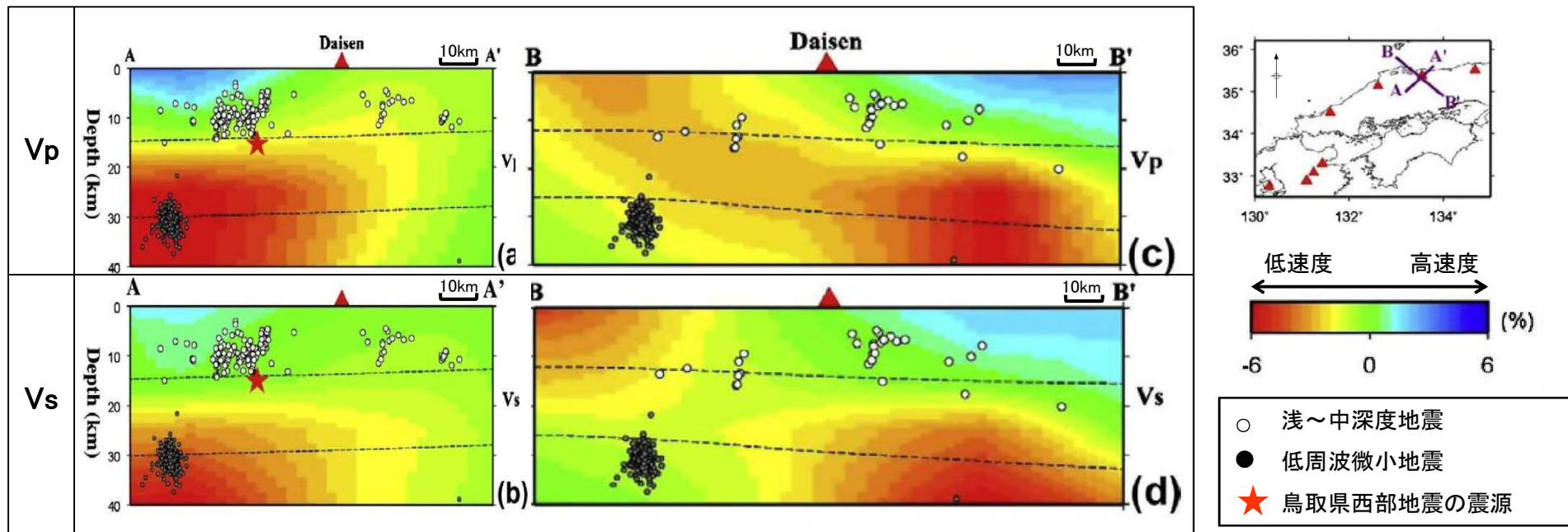
マグマ噴出率とマグマ組成変化の関係より、約2万年前の三鈷峰噴出では低噴出率期のトレンドに戻っていることから、原子力発電所の運用期間中には、倉吉軽石のような広域火山灰を降下させる規模の噴火を起こす可能性は極めて低いと考えられる。

---

余白

【大山地下深部の地震活動, 地震波速度構造に関する文献】

- ・Zhao et al.(2011)<sup>(50)</sup>は, 大山の南西～南東側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微小地震の存在から, マグマ溜まりの存在する可能性を示唆している。
- ・なお, 大見(2002)<sup>(51)</sup>によると, 鳥取県西部地震震源域の深部低周波地震は, 深部のマグマ活動に限定して考えるよりも, スラブから供給された流体の挙動に基づくものと考えられるとされている。



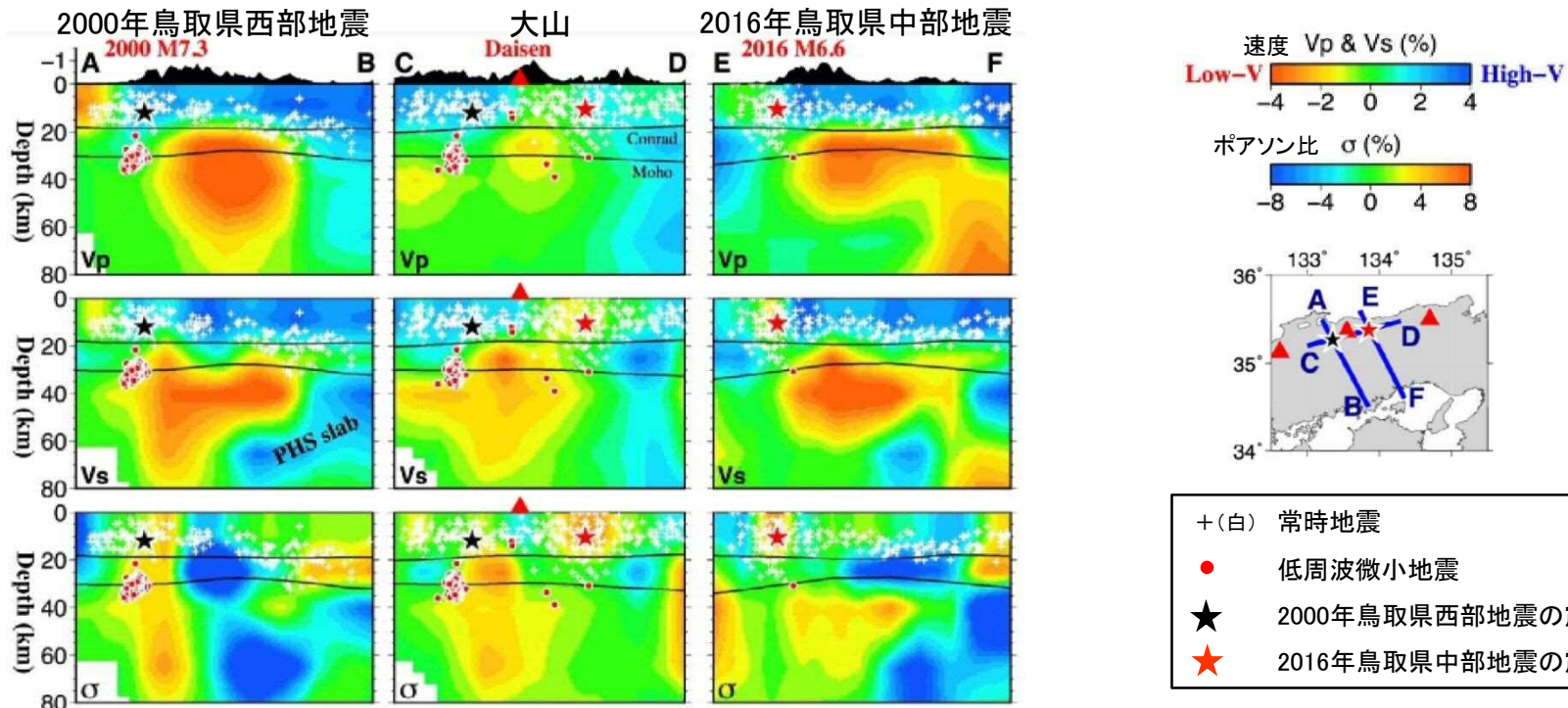
Zhao et al.(2011)より引用・加筆

大山の南西～南東側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微小地震の存在から, マグマ溜まりの存在する可能性を示唆しているが, 仮にマグマ溜まりとしても, これらの低速度層は20km以深に位置しており, 東宮(1997)による玄武岩質マグマの浮力中立点の深度12kmよりも深い位置にあると推察されることから, 原子力発電所の運用期間中には, 大山倉吉軽石のような広域火山灰を降下させる規模の噴火を起こす可能性は極めて低いと考えられる。

# 大山に関する地球物理学的調査(地震活動, 地震波速度構造)

## 【大山地下深部の地震活動, 地震波速度構造に関する最近の文献】

- Zhao et al.(2018)<sup>(52)</sup>は, Zhao et al.(2011)の研究をさらに進め, 大山, 2000年鳥取県西部地震震源域及び2016年鳥取県中部地震震源域を横断する地下深部のP波速度, S波速度及びポアソン比を示し, 大山付近の上部マントル及び下部地殻には, 顕著な低速度・高ポアソン比が認められるとしている。
- また, Zhao et al.(2018)は, 2000年鳥取県西部地震震源域のモホ面付近に集中する低周波微小地震は, マグマを含む流体の移動による地震であるとしている。



大山の地下深部に広がる低速度・高ポアソン比と, 2000年鳥取県西部地震震源域のモホ面付近に集中する低周波微小地震の存在から, マグマ溜まりの存在する可能性を示唆しているが, 仮にマグマ溜まりとしても, これらの低速度・高ポアソン比は20km以深に位置しており, 東宮(1997)による玄武岩質マグマの浮力中立点の深度12kmよりも深い位置にあると推察されることから, 原子力発電所の運用期間中には, 大山倉吉軽石のような広域火山灰を降下させる規模の噴火を起こす可能性は極めて低いと考えられる。

## 大山の噴火規模の想定(まとめ)

## 【降下火砕物の分布に関する調査結果】

・地質調査の結果、敷地周辺の層厚は概ね文献と同等であり、敷地は等層厚線20～35cmに位置し、大山松江テフラ(DMP)の敷地における層厚は30cm程度と推定される。また、敷地では降下火砕物は確認されていない。

## 【噴火履歴による検討結果】

- ・現在は火山活動の末期である第4期の溶岩円頂丘が発達しているとし、後期型円錐火山とされている。
- ・溝口凝灰角礫岩の堆積以降において、最も規模の大きな噴火は倉吉軽石(DKP)噴出時である。
- ・階段ダイヤグラムによる検討の結果、約40万年前以降、噴火規模の最も大きな倉吉軽石規模の噴火までの期間(約34.5万年)は、最新の噴火からの経過時間(約5.5万年)に比べ十分に長い。更に、奥津軽石(約19万年前)の噴火から倉吉軽石規模の噴火までの期間(約13.5万年)を見積もっても、最新の噴火からの経過時間(約5.5万年)に比べ十分に長いことから、原子力発電所の運用期間中には、倉吉軽石のような広域火山灰を降下させる規模の噴火を起こす可能性は極めて低いと考えられる。
- ・一方、それ以外の噴火については、倉吉軽石噴出時以前もしくは以降においても繰り返し発生している。
- ・生竹軽石(DNP)の噴出規模は、等層厚線図を用いて算出した結果、Legros法の場合、1.8～3.4km<sup>3</sup>、Hayakawa法の場合、5.8～11.0km<sup>3</sup>となること、また、原子力規制委員会(2018)によれば、生竹軽石(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10km<sup>3</sup>以上と考えられるとしていることから、火山影響評価上、生竹軽石(DNP)の噴出規模を11.0km<sup>3</sup>とする。

## 【マグマ供給系に関する検討結果】

・マグマ噴出率とマグマ組成変化の関係より、約2万年前の三鈷峰噴出では低噴出率期のトレンドに戻っていることから、原子力発電所の運用期間中には、倉吉軽石のような広域火山灰を降下させる規模の噴火を起こす可能性は極めて低いと考えられる。

## 【地球物理学的調査結果】

・大山の地下深部に広がる低速度・高ポアソン比と、2000年鳥取県西部地震震源域のモホ面付近に集中する低周波微小地震の存在から、マグマ溜まりの存在する可能性を示唆しているが、仮にマグマ溜まりとしても、これらの低速度・高ポアソン比は20km以深に位置しており、東宮(1997)による玄武岩質マグマの浮力中立点の深度12kmよりも深い位置にあると推察されることから、原子力発電所の運用期間中には、大山倉吉軽石のような広域火山灰を降下させる規模の噴火を起こす可能性は極めて低いと考えられる。

・噴火履歴による検討結果、地球物理学的調査結果等によると、原子力発電所の運用期間中には、大山倉吉軽石のような広域火山灰を降下させる規模の噴火を起こす可能性は極めて低いと考えられる。

・原子力発電所の運用期間中の規模として、敷地周辺において確認された大山松江軽石の噴出規模2.19km<sup>3</sup>を想定し、火山灰シミュレーションを実施する。

・更に、大山倉吉軽石以外の噴火の中で最大規模となる大山生竹軽石(噴出量11.0km<sup>3</sup>)の噴火の可能性も考慮し、火山灰シミュレーションを実施する。

余白

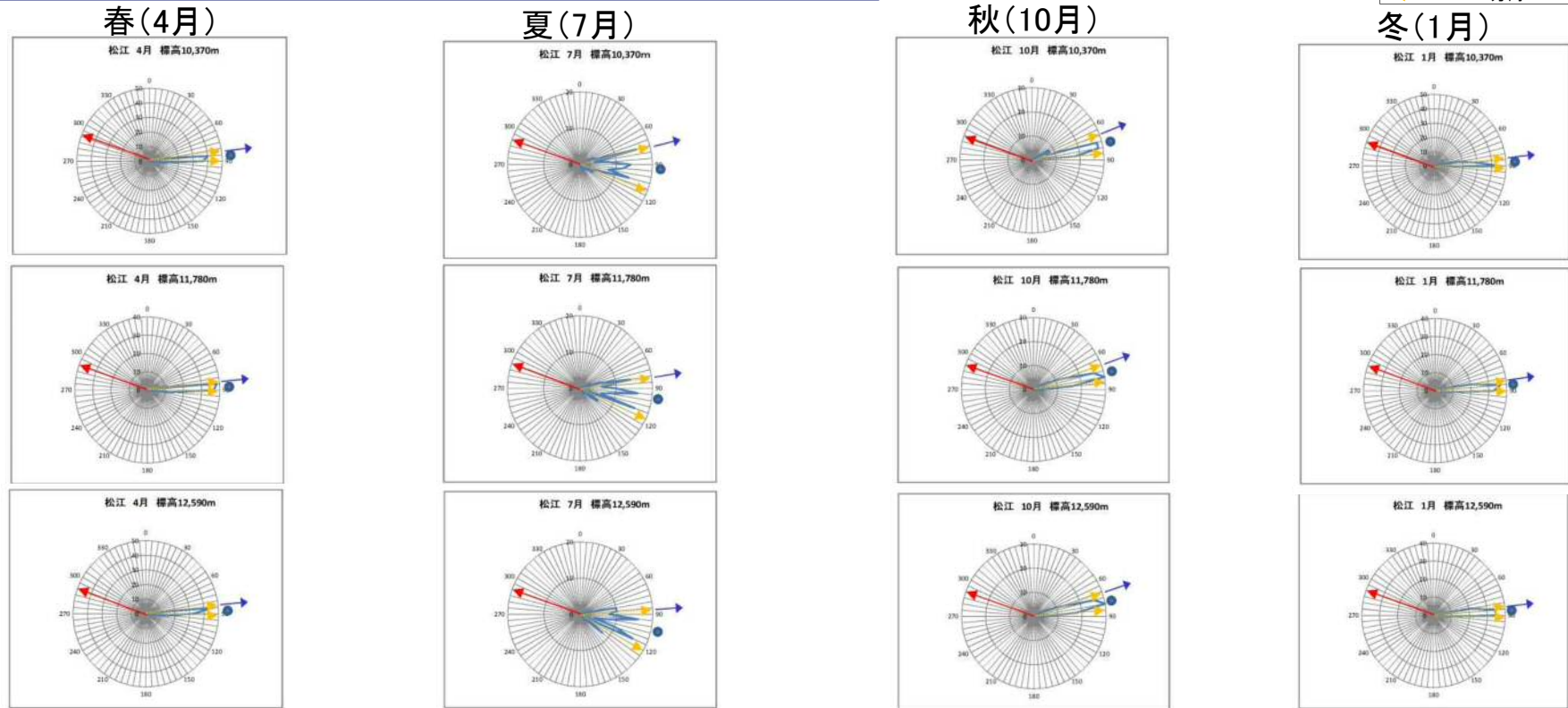
4. 大山に関する火山灰シミュレーション

大山松江テフラに関する火山灰シミュレーション(パラメータ)

現在の気象条件において、敷地の東方に位置する大山を給源とする降下火砕物が、松江軽石(DMP)のような西向きの降灰分布となる可能性について風向に関する統計処理により検討した。

偏西風が卓越する高度約10,000m～約12,000m付近のデータ

→ 大山から敷地への方向  
● 平均値方向  
→ ±1σ方向



注)標準高度による大気パラメータとして表示

偏西風が卓越する高度約2,000mから約12,000mの1月～12月の風向データについて、統計処理した結果、敷地方向は±1σの風向範囲にないことを確認した。

26年間(1988/1～2013/6)の  
毎9時及び21時の風向観測結果  
米子観測所:1988/1～2010/2  
松江観測所:2010/3～2013/6

現在の気象条件では、敷地の東方に位置する大山を給源とする降下火砕物が、松江軽石(DMP)のような西向きの降灰分布となる可能性は極めて低いと考えられる。



# 大山松江テフラに関する火山灰シミュレーション(パラメータ)

松江軽石(以下, 大山松江テフラ)について, 現在の気象条件における降灰分布を確認するために, 火山灰シミュレーションを実施した。

## 火山灰シミュレーションの概要

- ・シミュレーションのプログラム:Tephra2 (バグ修正後プログラム)
- ・想定する噴火規模: 大山松江テフラ(総噴出量: 2.19km<sup>3</sup>)
- ・各パラメータ(地形, 噴煙柱, 粒子, 大気): 下表のとおり

※2 L.G. Mastin et al. (2009) に示される噴煙柱高度の回帰式  $H(\text{km}) = 25.9 + 6.64 \log_{10}(V(\text{km}^3 \text{DRE}))$

見かけ体積は, 須藤ほか(2007)による。  
計算により算出

各パラメーター一覧表

対象とする火山		大山		引用した文献・資料など
想定する噴火規模		DMP		
地形 パラメータ	地形モデル解析	m	1,000	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
	火口位置X	m	367,926	
	火口位置Y	m	3,915,169	
	火口位置Z	m	1,729	
噴煙柱 パラメータ	噴煙柱上端の標高	m	25,000	右表参照
	噴出物の総重量	kg	2.2E+12	右表参照
	最大粒径	phi	-10(2 <sup>10</sup> mm=1024mm)	TEPHRA2による推奨値※1
	最小粒径	phi	10(2 <sup>-10</sup> mm=9.77 × 10 <sup>-4</sup> mm)	
	中央粒径	phi	4.5(2 <sup>-4.5</sup> mm=0.0442mm)	
標準偏差	phi	3(2 <sup>-3</sup> mm=0.125mm)		
粒子 パラメータ	渦拡散係数	m <sup>2</sup> /s	0.04	T.Suzuki(1983) より
	拡散係数	m <sup>2</sup> /s	500	萬年(2013) より
	Fall Time Threshold	s	3,600	C.Bonadonna et al.(2005) より
	岩片の見かけ密度	kg/m <sup>3</sup>	2,600	TEPHRA2による推奨値※1
	軽石の見かけ密度	kg/m <sup>3</sup>	1,000	
大気 パラメータ	風速	m/s	高度ごとに月平均風速(9時, 21時)の平均値	気象庁公開データ(1988.1~2013.6) ・松江(2010.3~)&米子(1988.1~2010.2) ・高度は指定気圧面を計算式により変換した高度
	風向	度	高度ごとに月平均風向(9時, 21時)の最頻値	
	季節条件		1月~12月	

対象とする火山	大山	備考
想定する噴火規模	DMP	
噴煙柱高度 H (km) <sup>※2</sup>	25	
見かけ体積 V1 (km <sup>3</sup> )	2.19	
見かけ体積 V2 (km <sup>3</sup> DRE)	0.84	
噴出物総重量 (kg)	2.2E+12	

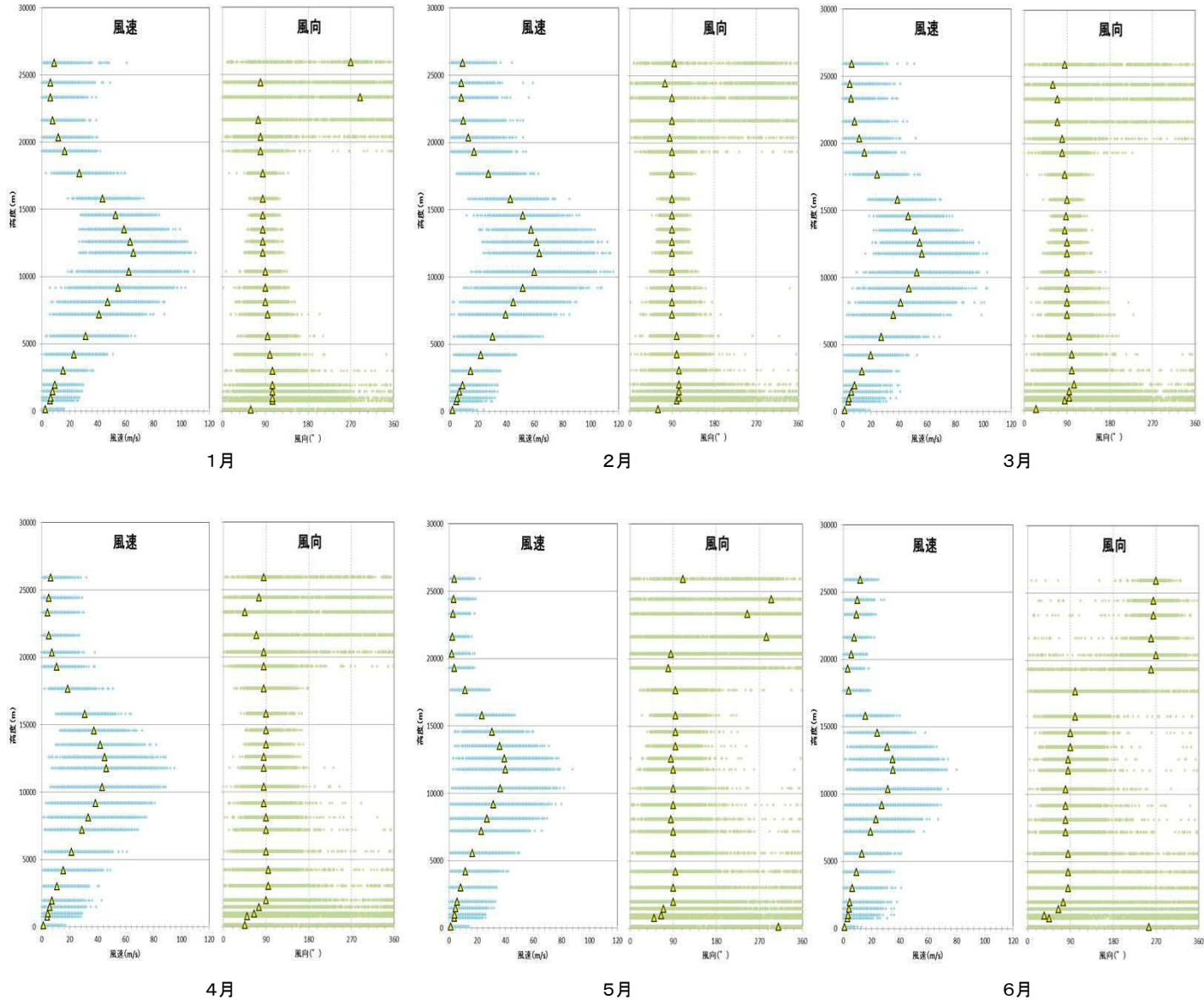
換算値		
岩片の見かけ密度	2,600	kg/m <sup>3</sup>
降下火砕物の見かけ密度	1,000	kg/m <sup>3</sup>

※1 Tephra2 Users Manual Spring 2011(University of South Florida)より

# 大山に関する火山灰シミュレーション(大気パラメータ)

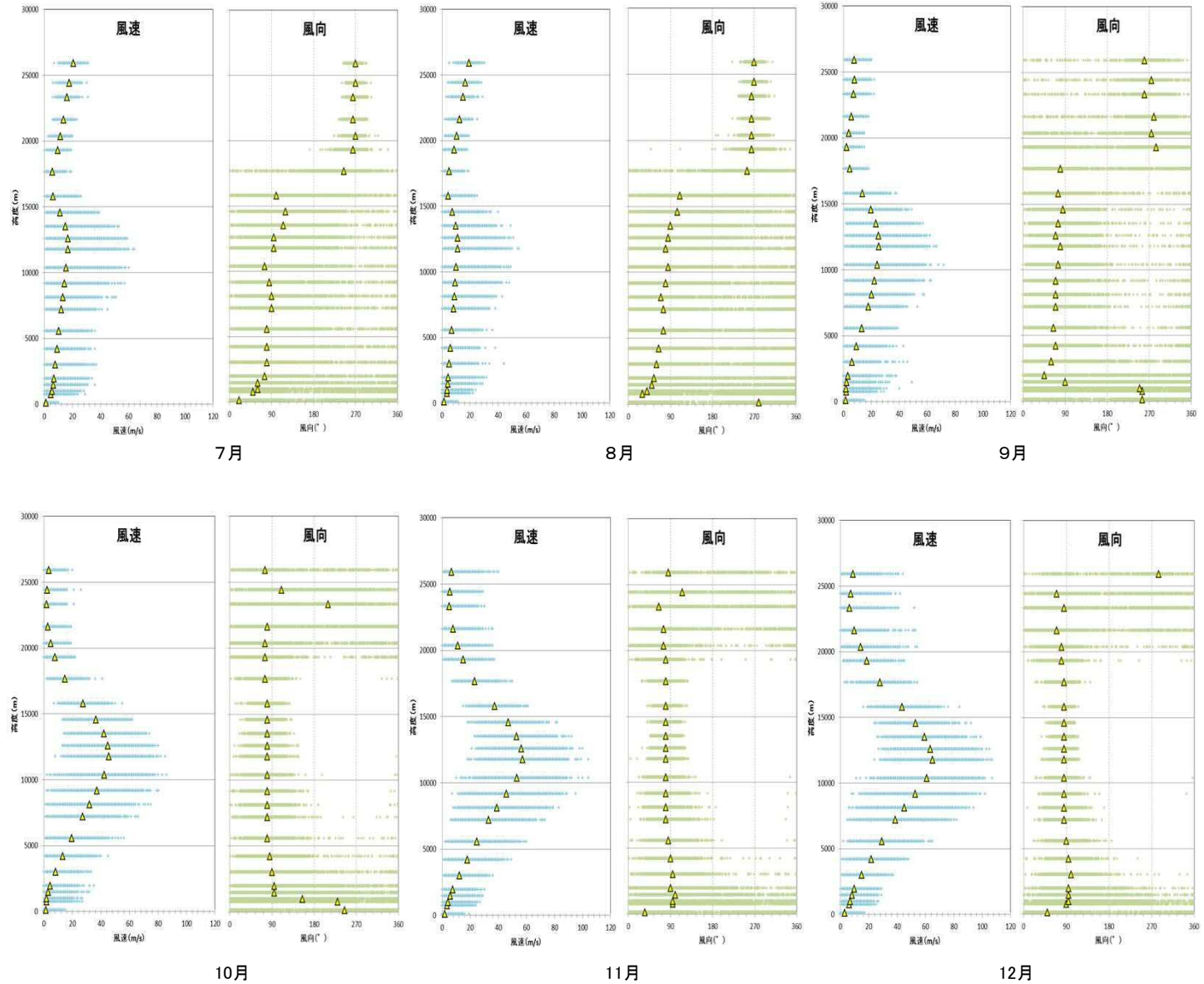
**大気パラメータ**  
 大山と比較的緯度が近い, 気象庁の米子観測所(1988年1月~2010年2月)及び松江観測所(2010年3月~2013年6月)のデータを用いた。  
 偏西風の風速が大きい約17,000m以下の高度では, 年間を通じて西風が卓越し, 冬は風向のばらつきが小さく, 夏は風向のばらつきが著しい。また, 冬に風速が大きく, 夏に風速が小さい。

- 凡例
- + : 風速データ
  - + : 風向データ
  - △ : 月平均風速の平均値  
月平均風向の最頻値



注) 標準高度による大気パラメータとして表示

# 大山に関する火山灰シミュレーション(大気パラメータ)



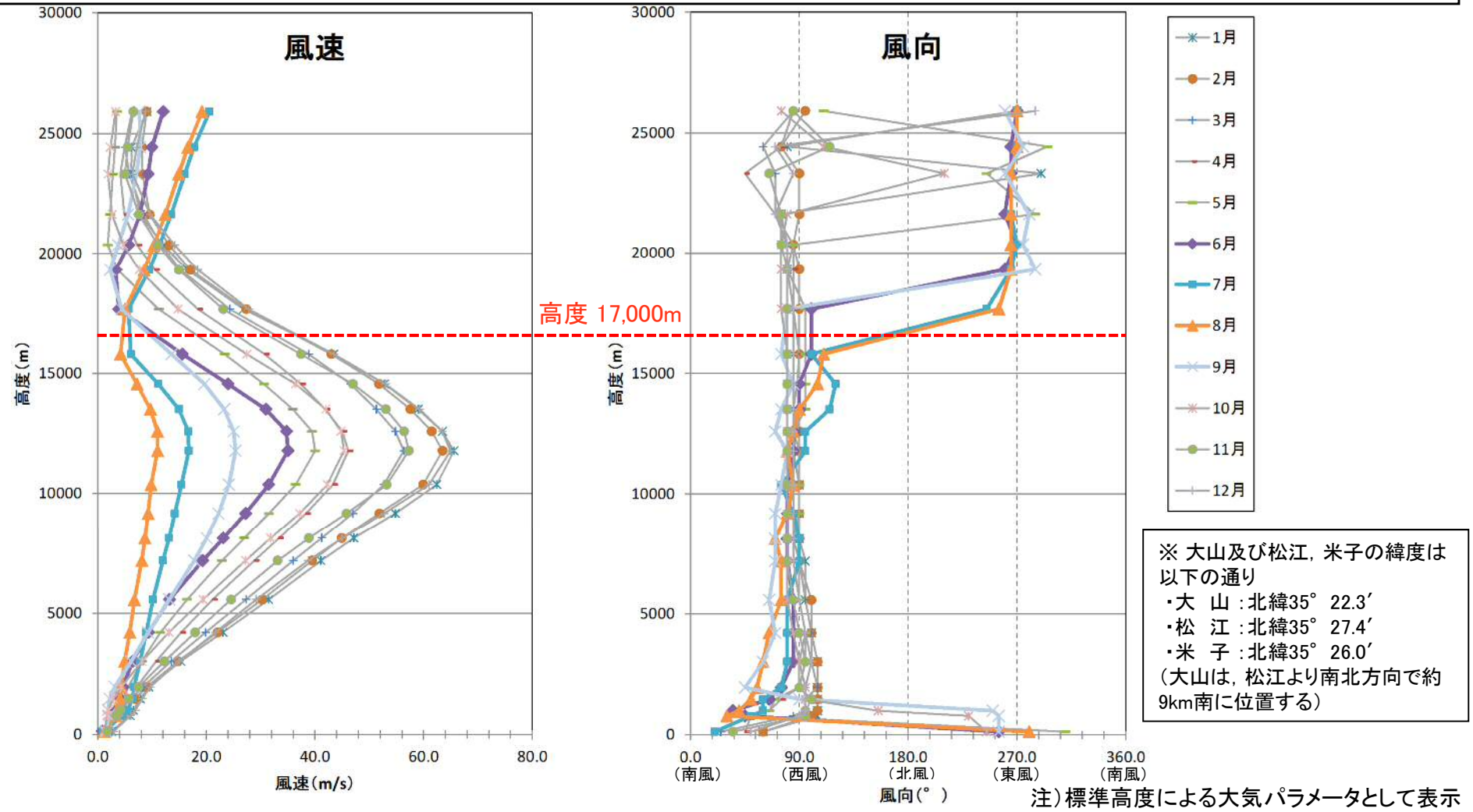
凡例  
+ : 風速データ  
+ : 風向データ  
△ : 月平均風速の平均値  
月平均風向の最頻値

注) 標準高度による大気パラメータとして表示

# 大山に関する火山灰シミュレーション(大気パラメータ)

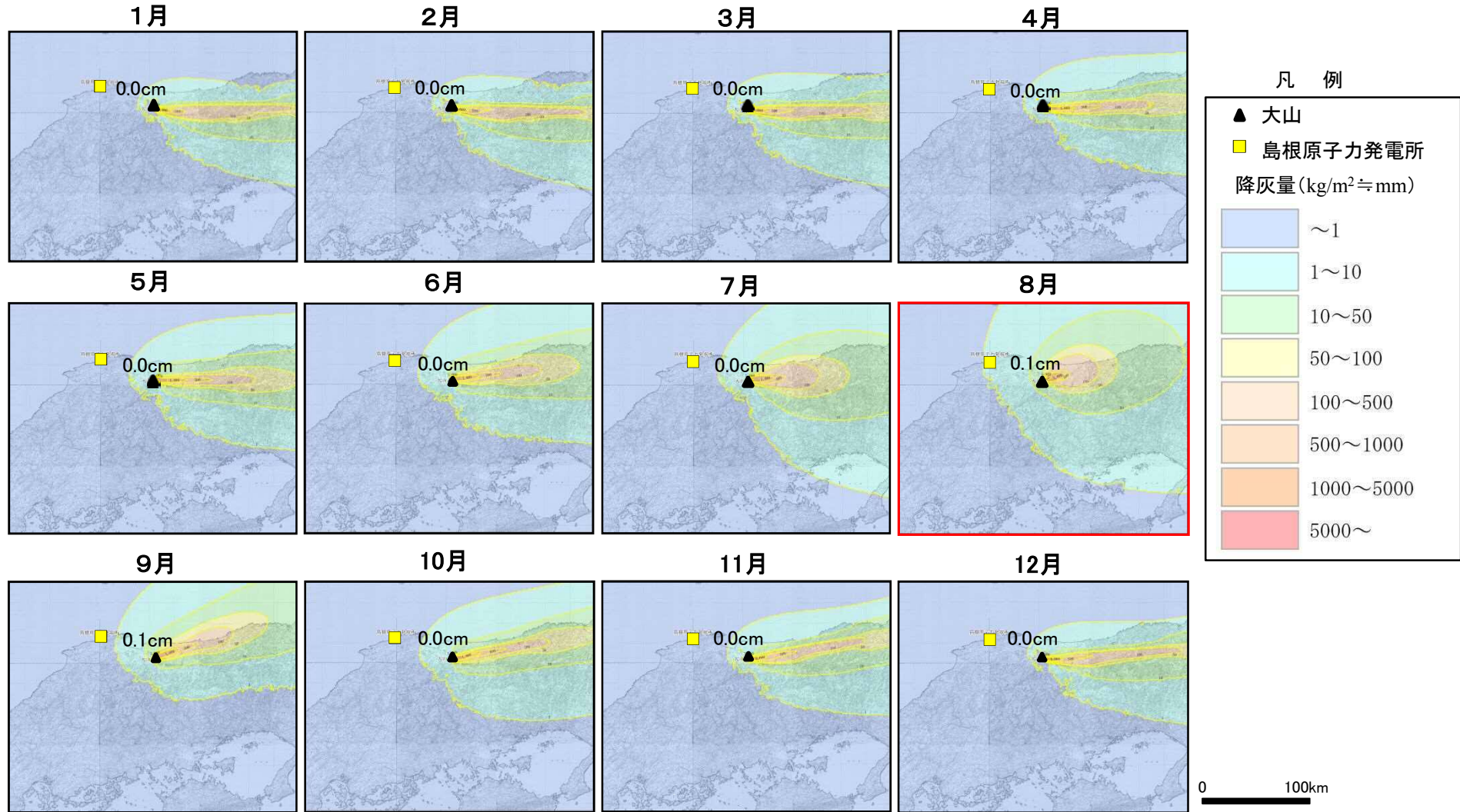
大気パラメータは、大山と比較的緯度が近い※、気象庁の米子観測所(1988年1月～2010年2月)及び松江観測所(2010年3月～2013年6月)のデータを用いた。風速は高度毎の9時, 21時の月平均風速の平均値, また風向は高度毎の9時, 21時の月平均風向の最頻値を使用した。なお、風向・風速データの最高高度(約26,000m)を上回る範囲の風向・風速の設定が敷地における降灰層厚に及ぼす影響はほとんどないと考えられることから(次頁以降参照)、最高点の風向・風速値が高さ方向に一定である(変化しない)ものとして取り扱った。

偏西風の風速が大きい約17,000m以下の高度では、年間を通じて西風が卓越する。



余白

# 大山松江テフラに関する火山灰シミュレーション

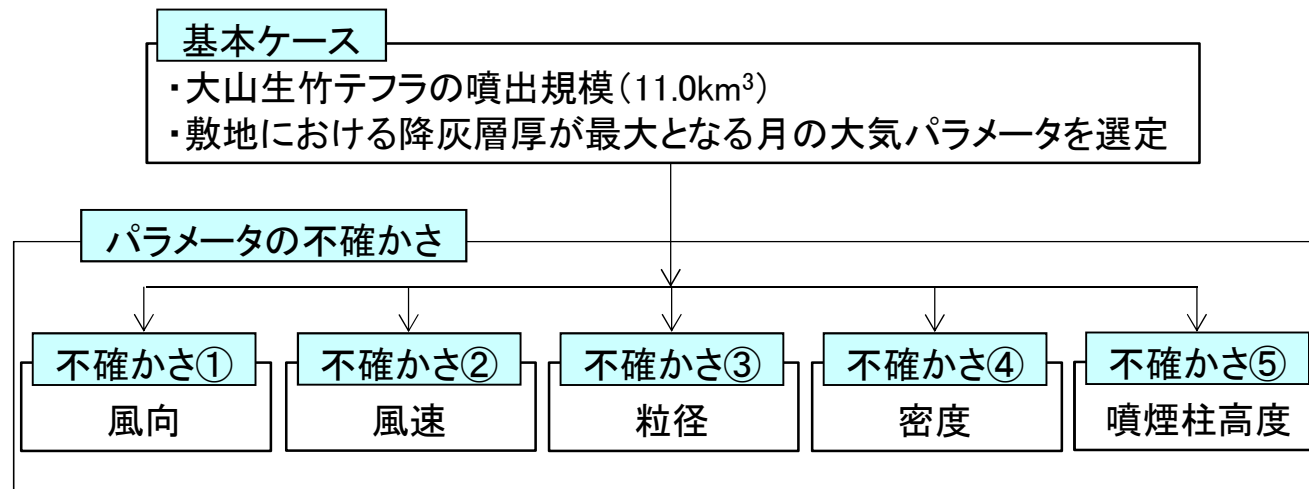


火山灰シミュレーションの結果、偏西風の弱まる8月の降水量が最大となり、敷地における降灰層厚は0.1cmとなった。現在の気象条件では、敷地の東方に位置する大山を給源とする降下火砕物が町田・新井(2011)や地質調査結果において確認されたような西向き降灰分布にはならないことが火山灰シミュレーションからも確認された。

## 大山生竹テフラに関する火山灰シミュレーション(検討方針)

原子力発電所の運用期間中の規模として、大山倉吉軽石以外の噴火の中で最大規模となる大山生竹軽石(以下、大山生竹テフラ)の噴火の可能性を考慮し、火山灰シミュレーションを実施する。

・敷地の東方に位置する大山を給源とする降下火砕物が西向きの降灰分布となる可能性は、現在の気象条件では極めて低いですが、大山松江テフラのような西向きの降灰実績を踏まえ、敷地における降灰層厚が最大となる月の大気パラメータを用いたシミュレーションを基本ケースとし、パラメータの不確かさを考慮して降灰層厚への影響について検討する。



### ・不確かさのパラメータ設定の考え方

- ①敷地方向への仮想風を考慮したケース
- ②基本ケースの風速を1 $\sigma$ 増減させたケース
- ③Tephra2による推奨値の粒径範囲(珪長質:-10~10phi)に対し、推奨限界値(-6~6phi)を設定したケース
- ④粒径に基づき設定される粒子密度(1,000~2,600kg/m<sup>3</sup>)に対し、密度均一(1,000kg/m<sup>3</sup>, 2,600kg/m<sup>3</sup>)を設定したケース
- ⑤基本ケースの噴煙柱高度30kmに対し、20km, 25kmを設定したケース

## 火山灰シミュレーションの概要

- ・シミュレーションのプログラム:Tephra2 (バグ修正後プログラム)
- ・想定する噴火規模:大山生竹テフラ(総噴出量:11.0km<sup>3</sup>)
- ・各パラメータ(地形, 噴煙柱, 粒子, 大気):下表のとおり

※2 L.G. Mastin et al. (2009) に示される噴煙柱高度の回帰式  $H(\text{km}) = 25.9 + 6.64 \log_{10}(V(\text{km}^3 \text{DRE}))$

見かけ体積は、須藤ほか(2007)による。  
計算により算出

各パラメーター一覧表

対象とする火山		大山		引用した文献・資料など
想定する噴火規模		DNP		
地形 パラメータ	地形モデル解析	m	1,000	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
	火口位置X	m	367.926	
	火口位置Y	m	3,915.169	
	火口位置Z	m	1,729	
噴煙柱 パラメータ	噴煙柱上端の標高	m	30,000	右表参照
	噴出物の総重量	kg	1.1E+13	右表参照
	最大粒径	phi	-10(2 <sup>10</sup> mm=1024mm)	TEPHRA2による推奨値 <sup>※1</sup>
	最小粒径	phi	10(2 <sup>-10</sup> mm=9.77×10 <sup>-4</sup> mm)	
	中央粒径	phi	4.5(2 <sup>-4.5</sup> mm=0.0442mm)	
標準偏差	phi	3(2 <sup>-3</sup> mm=0.125mm)		
粒子 パラメータ	渦拡散係数	m <sup>2</sup> /s	0.04	T.Suzuki(1983) より
	拡散係数	m <sup>2</sup> /s	500	萬年(2013) より
	Fall Time Threshold	s	3,600	C.Bonadonna et al.(2005) より
	岩片の見かけ密度	kg/m <sup>3</sup>	2,600	TEPHRA2による推奨値 <sup>※1</sup>
	軽石の見かけ密度	kg/m <sup>3</sup>	1,000	
大気 パラメータ	風速	m/s	高度ごとに月平均風速(9時, 21時)の平均値	気象庁公開データ(1988.1~2013.6) ・松江(2010.3~)&米子(1988.1~2010.2) ・高度は指定気圧面を計算式により変換した高度
	風向	度	高度ごとに月平均風向(9時, 21時)の最頻値	
	季節条件		1月~12月	

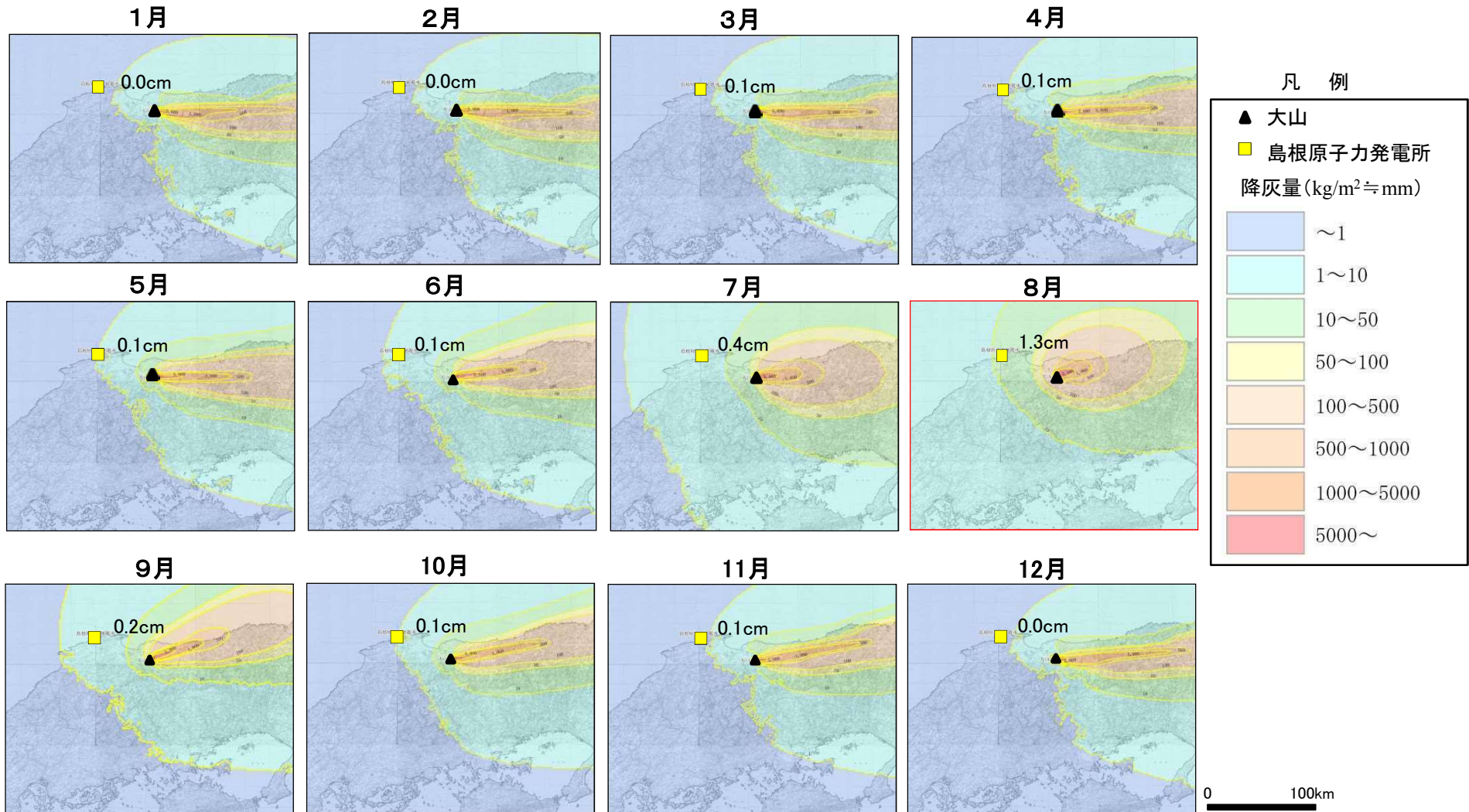
※1 Tephra2 Users Manual Spring 2011(University of South Florida)より

対象とする火山	大山	
想定する噴火規模	DNP	備考
噴煙柱高度 H (km) <sup>※2</sup>	30	
見かけ体積 V1 (km <sup>3</sup> )	11	
見かけ体積 V2 (km <sup>3</sup> DRE)	4.23	
噴出物総重量 (kg)	1.1E+13	

換算値		
岩片の見かけ密度	2,600	kg/m <sup>3</sup>
降下火砕物の見かけ密度	1,000	kg/m <sup>3</sup>



# 大山生竹テフラに関する火山灰シミュレーション(基本ケース)



火山灰シミュレーションの結果、偏西風の弱まる8月の降下量が最大となり、敷地における降灰層厚は1.3cmとなった。8月の大気パラメータを不確かさを考慮する際の基本ケースとして選定する。

## 敷地方向への仮想風を用いた検討

風向のバラつきによる影響が最も大きい8月を対象に、より厳しい条件を考慮した検討として、敷地方向への仮想風を用いたシミュレーションを実施した。なお、風向・風速は、毎日9時、21時の観測データを用いた。

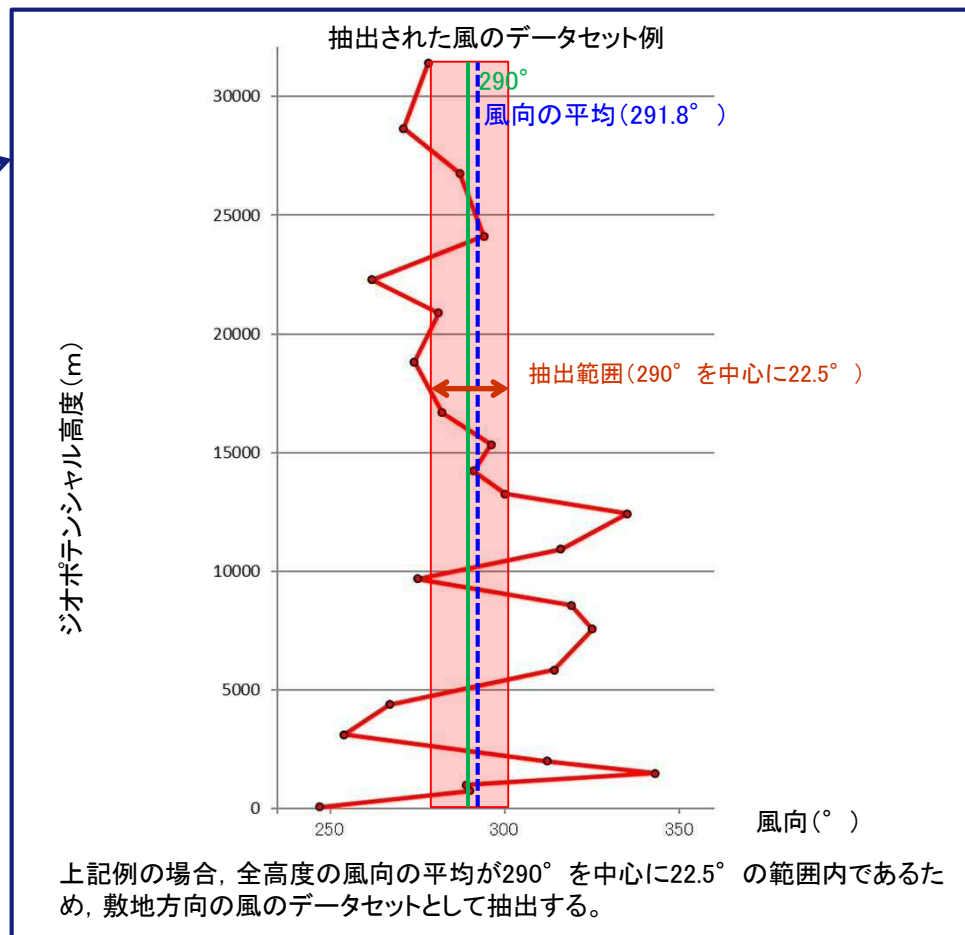
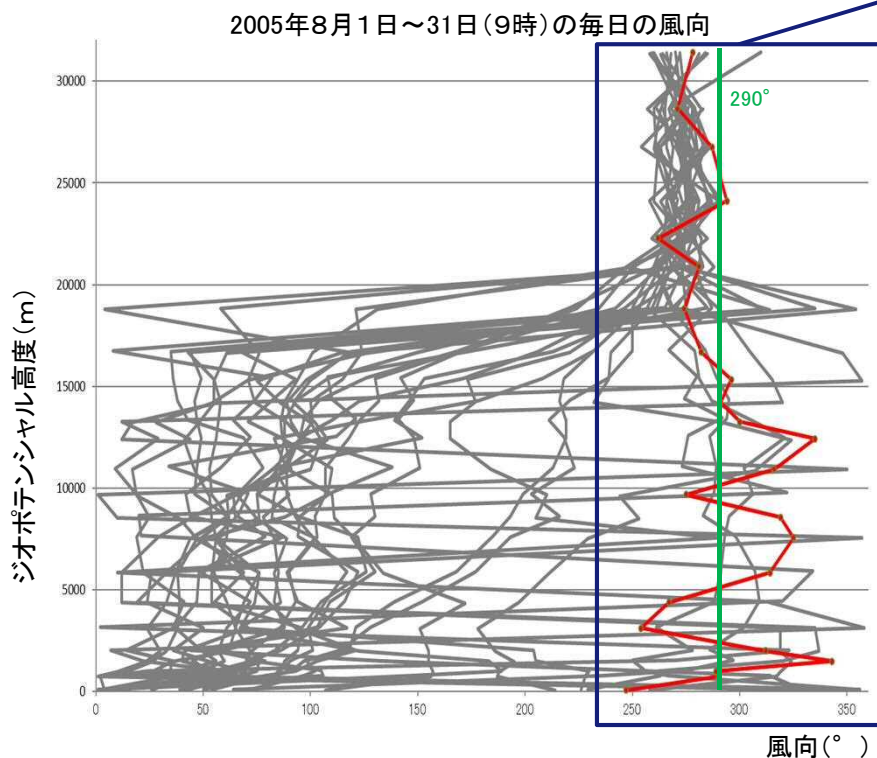
### 【敷地方向の風の抽出条件】

全高度における風向の平均値が抽出範囲内(290° ※1を中心に22.5° ※2の範囲)に入る風。

※1 大山から敷地へ向かう方向

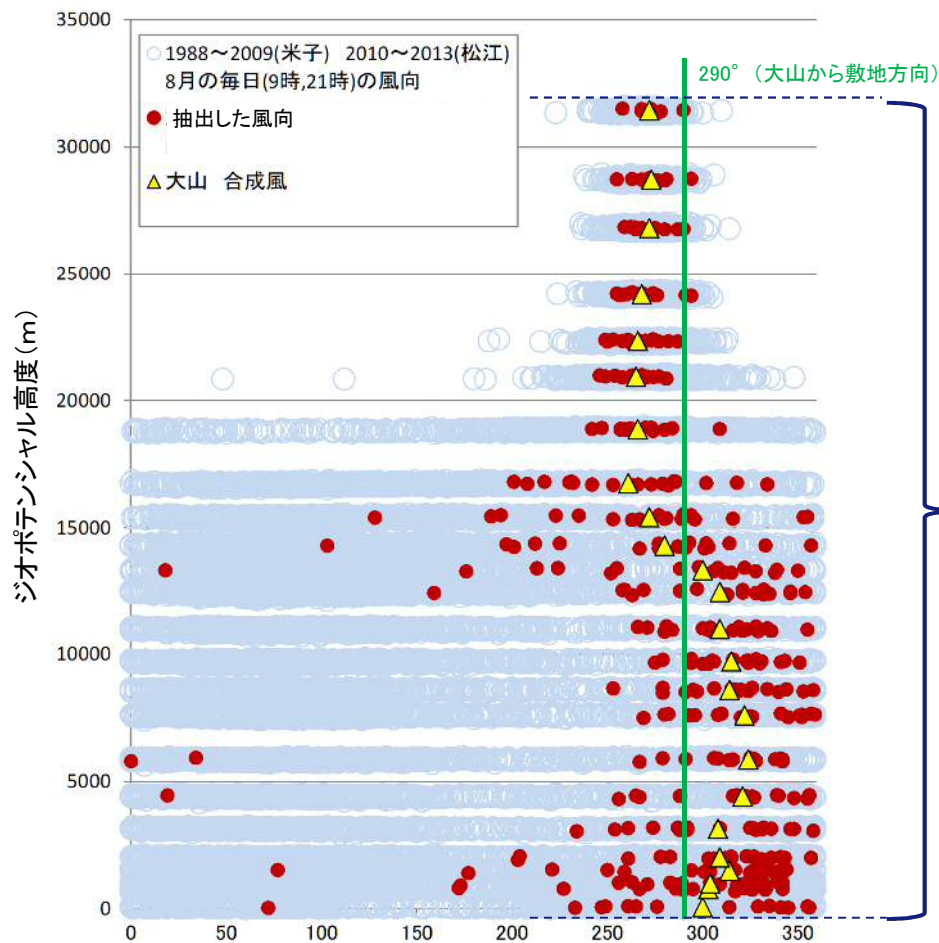
※2 風向を16方位に区分した際の1方位の角度

### 敷地方向の風の抽出方法

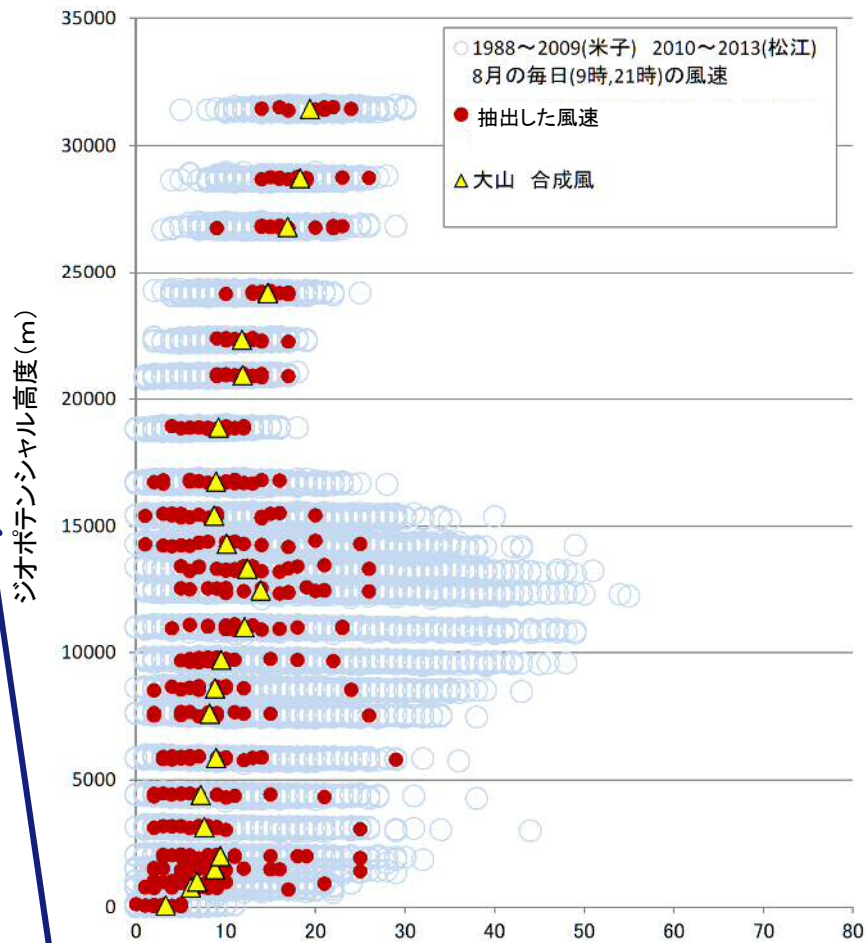


## 敷地方向への仮想風の作成結果(大山)

風向(°)松江(大山)(8月(9時・21時))



風速(m/s)松江(大山)(8月(9時・21時))

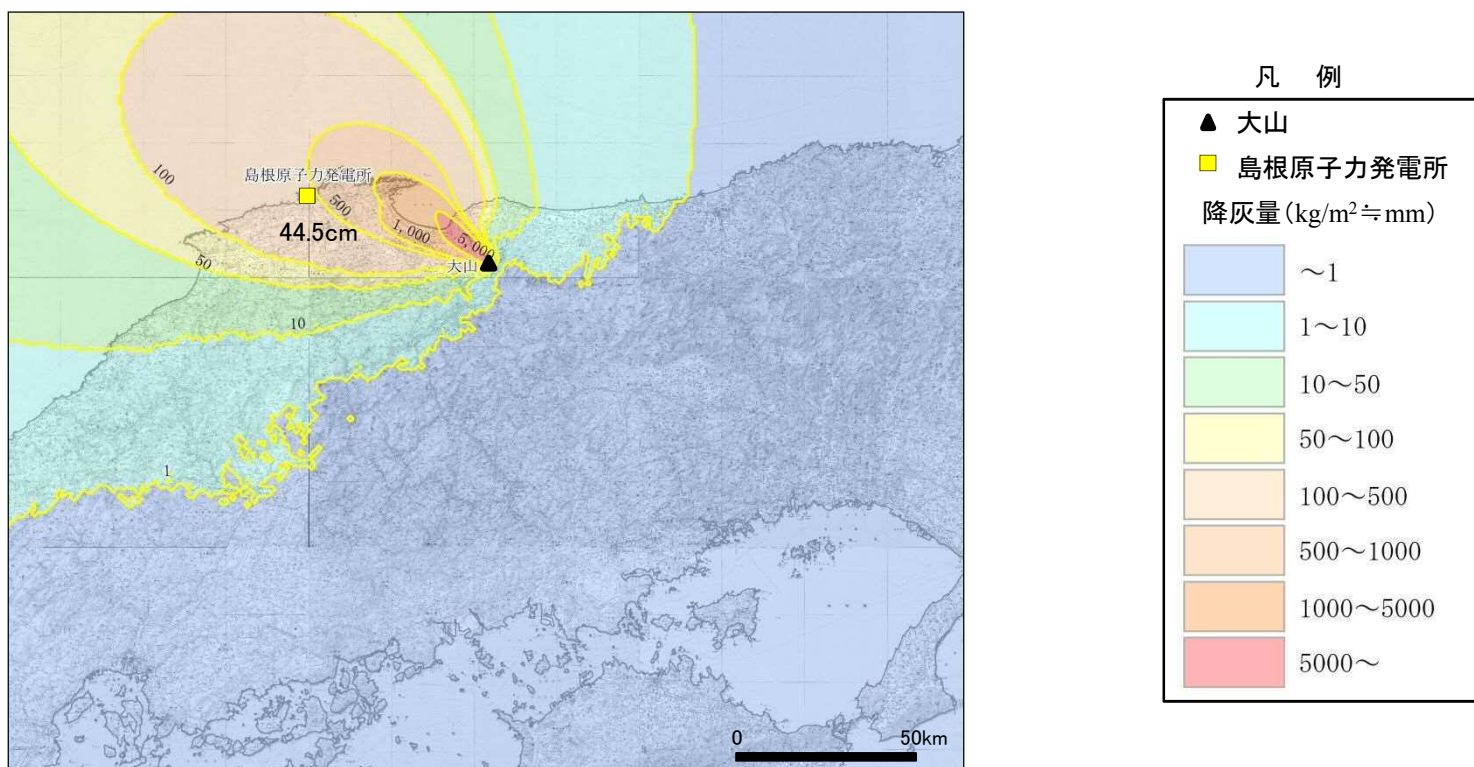


大山から敷地へ向かう全高度(ジオポテンシャル高度)の風を抽出し仮想風を作成。

# 大山生竹テフラに関する火山灰シミュレーション(不確かさ①<風向>)

## 風向の不確かさを考慮した検討結果

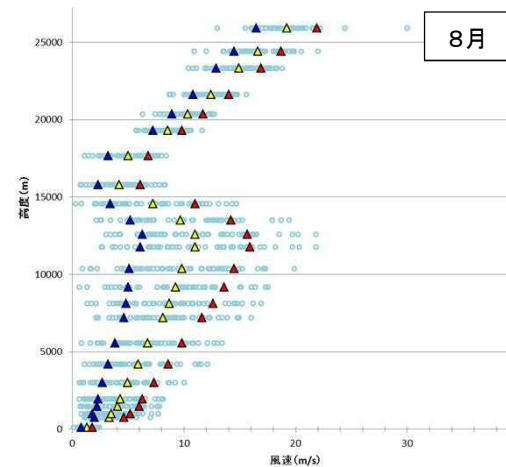
風向の不確かさを考慮した検討として、敷地方向への仮想風を考慮した検討を実施した。



風向の不確かさを考慮した検討として、敷地方向への仮想風を考慮した火山灰シミュレーションを実施した結果、敷地における降灰層厚は、基本ケースの1.3cmに対し44.5cmとなった。

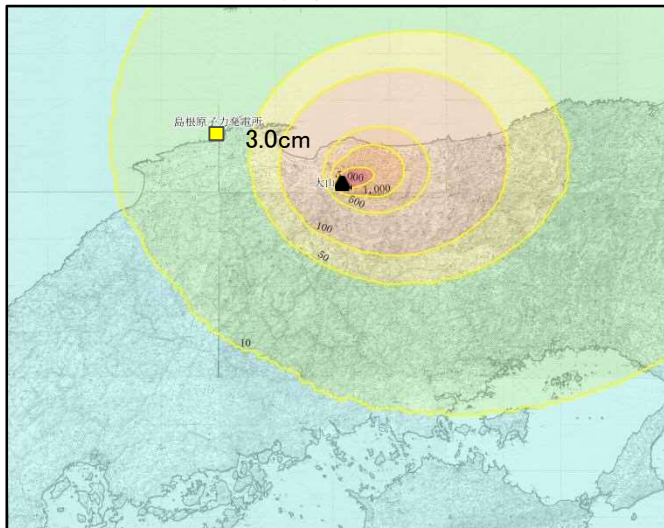
## 風速の不確かさを考慮した検討結果(±1σ)

風速の不確かさを考慮した検討として、敷地における降灰層厚が最大となった8月の大気パラメータを対象に、風速を-1σ, 1σ変化させたケースの検討を実施した。

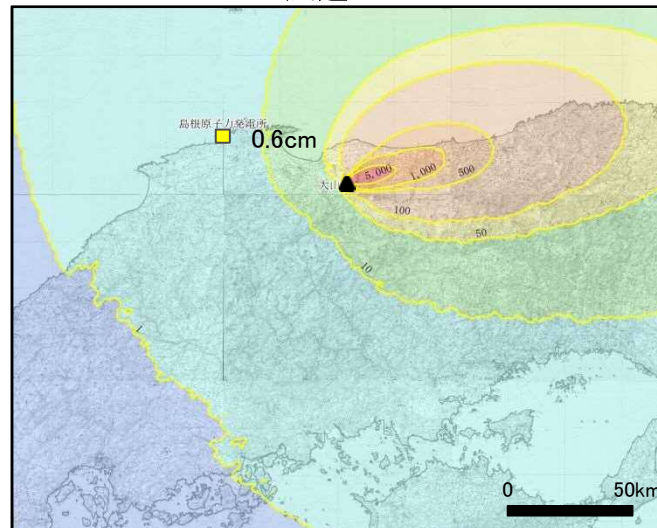


- 凡例
- : 月平均風速
  - △ : 月平均風速の平均値
  - ▲ : 月平均風速の平均値+1σ
  - ▼ : 月平均風速の平均値-1σ

風速-1σ



風速1σ



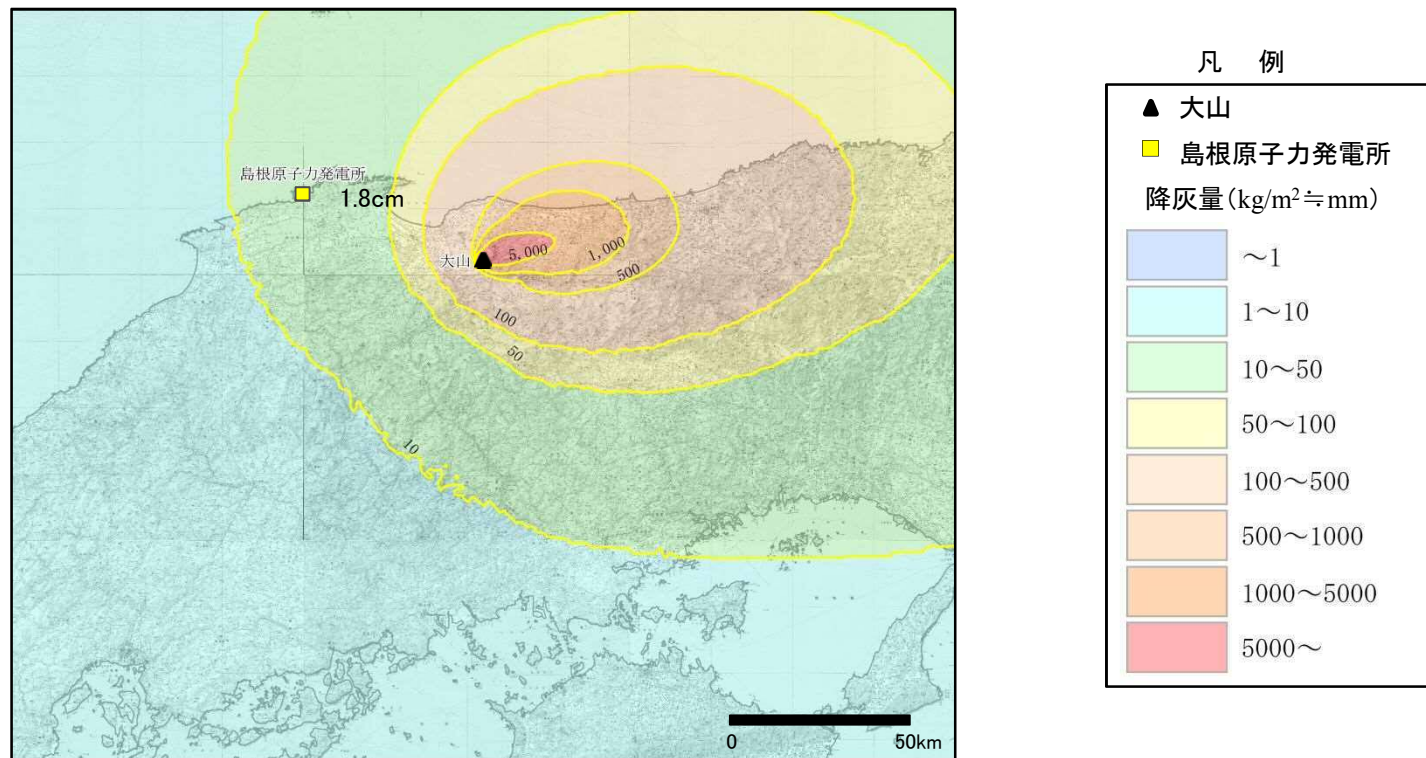
- 凡例
- ▲ 大山
  - 島根原子力発電所
- 降灰量(kg/m<sup>2</sup>≒mm)
- ~1
  - 1~10
  - 10~50
  - 50~100
  - 100~500
  - 500~1000
  - 1000~5000
  - 5000~

風速の不確かさを考慮した検討として、風速を-1σ, 1σ変化させた火山灰シミュレーションを実施した結果、敷地における降灰層厚は、基本ケースの1.3cmに対し、風速-1σの場合では3.0cm, 風速1σの場合では0.6cmとなった。

## 大山に関する火山灰シミュレーション(不確かさ③<粒径>)

### 粒径の不確かさを考慮した検討結果

粒径の不確かさを考慮した検討として、Tephra2による推奨値(珪長質)の粒径範囲(最大粒径:-10phi ( $2^{10}$ mm), 最小粒径:10phi ( $2^{-10}$ mm))に対し、推奨限界値(最大粒径:-6phi ( $2^6$ mm), 最小粒径:6phi ( $2^{-6}$ mm))を設定したケースの検討を実施した。

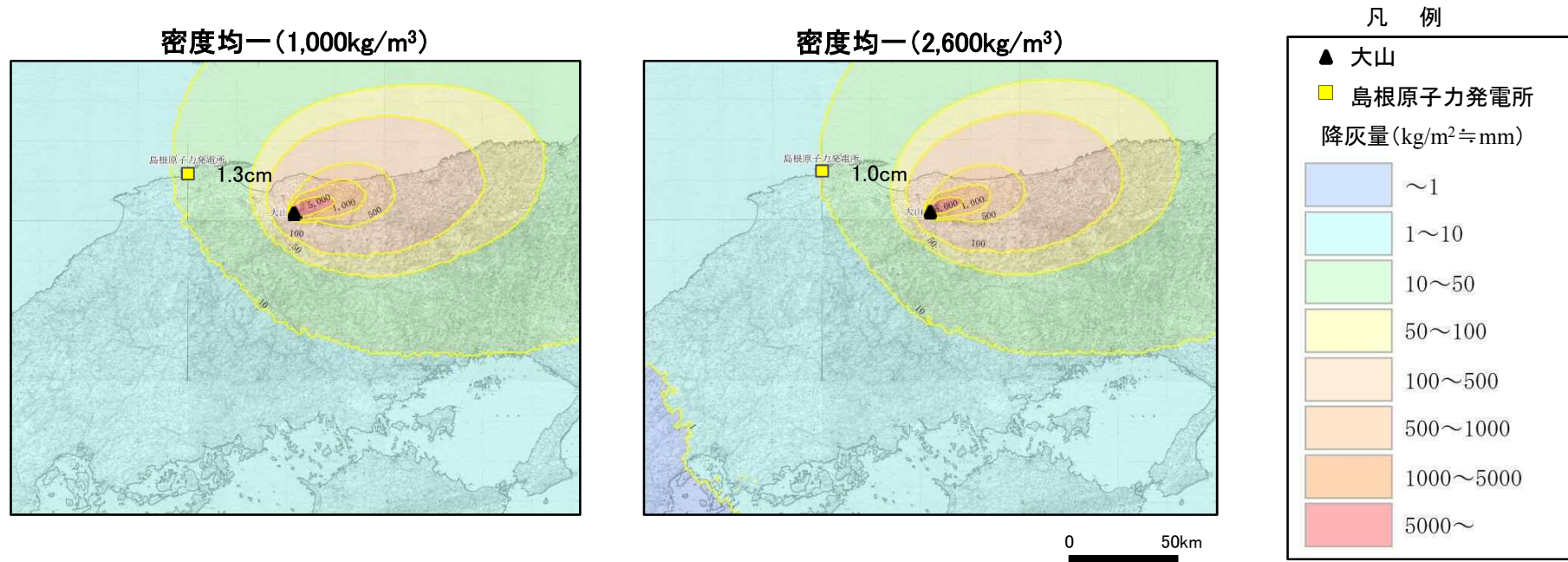


粒径の不確かさを考慮した検討として、粒径範囲を変化させた火山灰シミュレーションを実施した結果、敷地における降灰層厚は、基本ケースの1.3cmに対し1.8cmとなった。

# 大山に関する火山灰シミュレーション(不確かさ④<密度>)

## 密度の不確かさを考慮した検討結果

密度の不確かさを考慮した検討として、粒径に基づき設定される岩片・軽石粒子密度(1,000~2,600kg/m<sup>3</sup>)に対し、密度均一(1,000kg/m<sup>3</sup>, 2,600kg/m<sup>3</sup>)を設定したケースの検討を実施した。

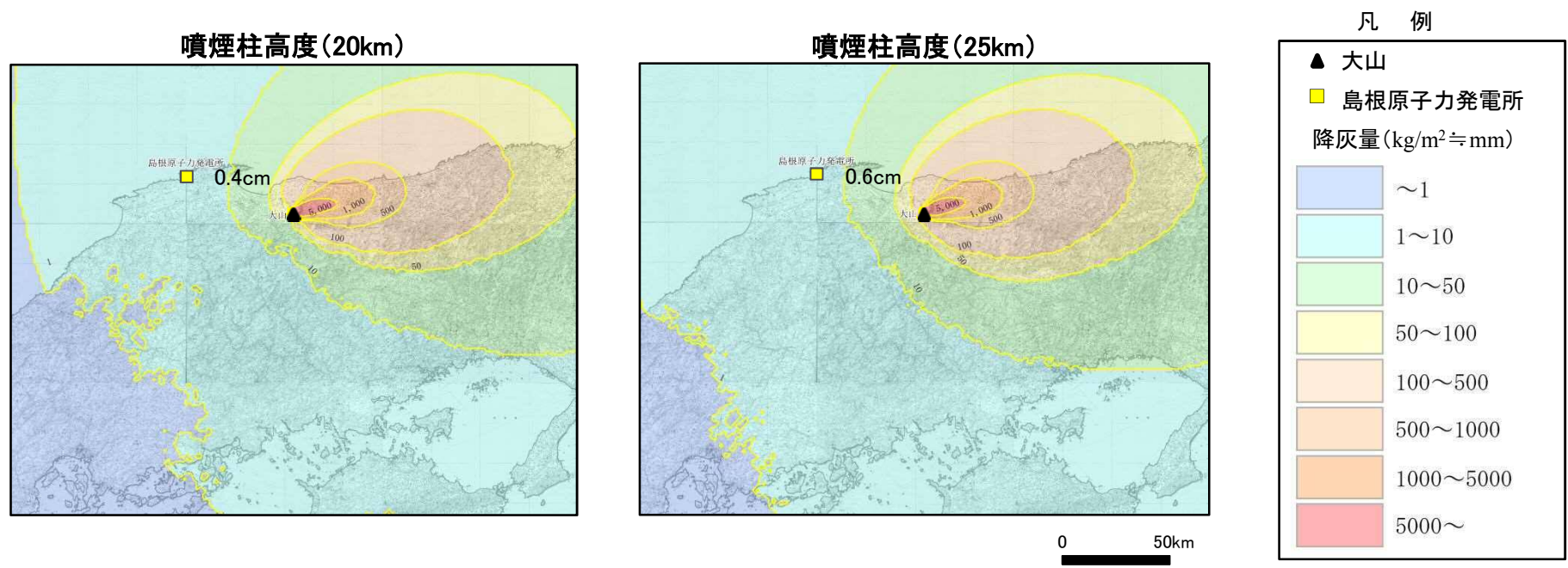


密度の不確かさを考慮した検討として、岩片・軽石粒子密度を均一とした火山灰シミュレーションを実施した結果、敷地における降灰層厚は、基本ケースの1.3cmに対し、密度1,000kg/m<sup>3</sup>の場合では1.3cm、密度2,600kg/m<sup>3</sup>の場合では1.0cmとなった。

# 大山に関する火山灰シミュレーション(不確かさ⑤<噴煙柱高度>)

## 噴煙柱高度の不確かさを考慮した検討結果

噴煙柱高度の不確かさを考慮した検討として, L.G. Mastin et al. (2009)に示される噴煙柱高度の回帰式より設定した噴煙柱高度30kmに対し, 20km, 25kmを設定したケースの検討を実施した。



噴煙柱高度の不確かさを考慮した検討として, 噴煙柱高度を変化させた火山灰シミュレーションを実施した結果, 敷地における降灰層厚は, 基本ケースの1.3cmに対し, 噴煙柱高度20kmの場合では0.4cm, 25kmの場合では0.6cmとなった。

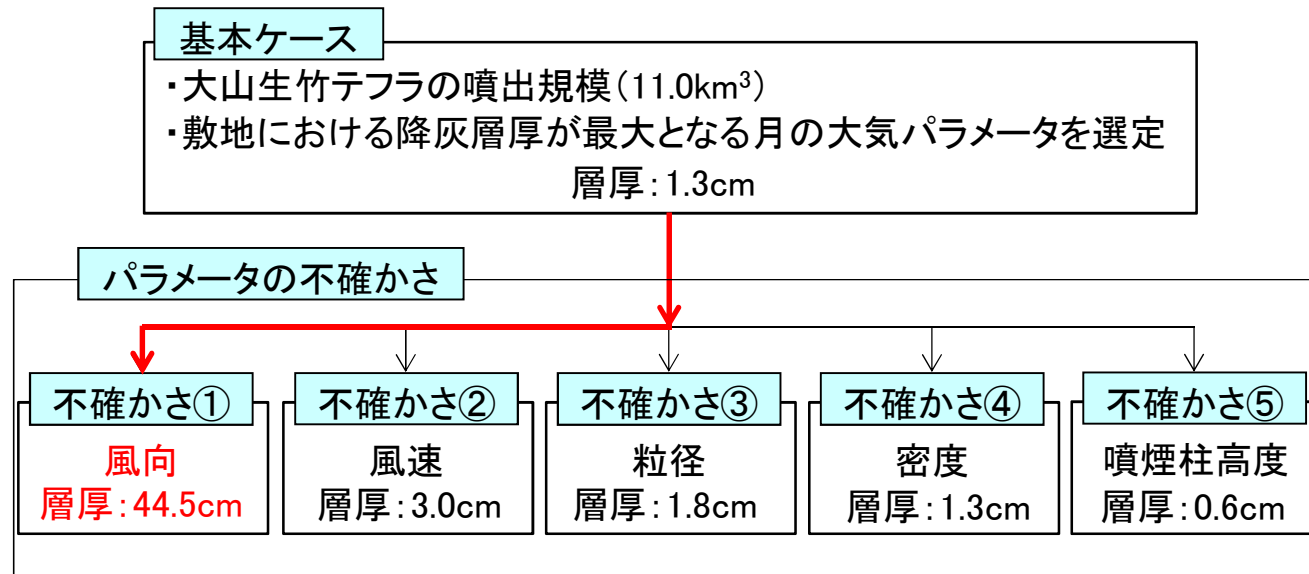


## 大山に関する火山灰シミュレーション結果(不確かさの考慮)

・原子力発電所の運用期間中の規模として、大山倉吉軽石以外の噴火の中で降下火砕物として最大規模となる大山生竹テフラ(噴出量 $11.0\text{km}^3$ )を想定した火山灰シミュレーションの結果、偏西風の弱まる8月の降下量が最大となり、敷地における降灰層厚は $1.3\text{cm}$ となった。

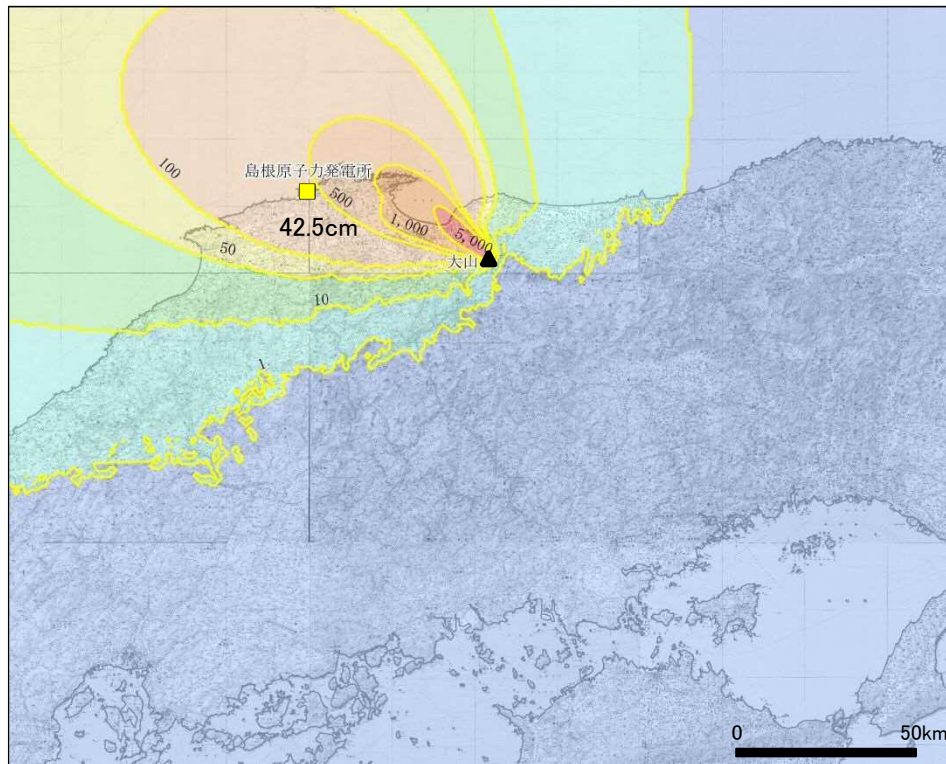
・8月の大気パラメータを用いたシミュレーションを不確かさを考慮する際の基本ケースとし、パラメータの不確かさを考慮して降灰層厚への影響について検討した結果、降灰層厚への影響が大きいパラメータは風向であり、風向の不確かさ(敷地方向への仮想風)を考慮した検討において、敷地における降灰層厚は $44.5\text{cm}$ となった。

・風向の不確かさを考慮した検討において、敷地における降灰層厚が最大となることから、ジオポテンシャル高度による大気パラメータにより火山灰シミュレーションを実施し、標準高度による大気パラメータを用いた火山灰シミュレーション結果の妥当性を確認する。



風向の不確かさを考慮した検討結果(ジオポテンシャル高度による大気パラメータ)

風向の不確かさを考慮した検討において、敷地における降灰層厚が最大となることから、ジオポテンシャル高度による大気パラメータにより火山灰シミュレーションを実施し、標準高度による大気パラメータを用いた火山灰シミュレーション結果の妥当性を確認した。

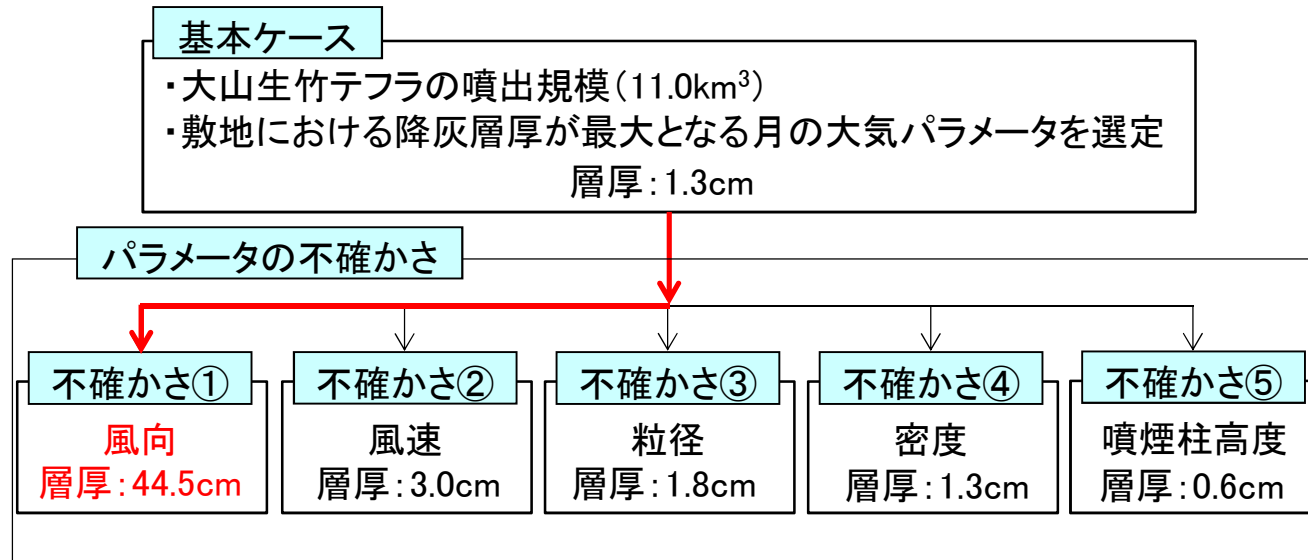


凡例

- ▲ 大山
  - 島根原子力発電所
- 降灰量(kg/m<sup>2</sup>≒mm)
- |           |
|-----------|
| ~1        |
| 1~10      |
| 10~50     |
| 50~100    |
| 100~500   |
| 500~1000  |
| 1000~5000 |
| 5000~     |

ジオポテンシャル高度による大気パラメータにより火山灰シミュレーションを実施した結果、敷地における降灰層厚は、標準高度による場合と同程度の42.5cmとなることが確認された。

原子力発電所の運用期間中の規模として、大山倉吉軽石以外の噴火の中で最大規模となる大山生竹テフラ(噴出量 $11.0\text{km}^3$ )を想定し、各種の不確かさを考慮した火山灰シミュレーションにより降下火砕物の影響評価を行った。



・原子力発電所の運用期間中の規模として、大山倉吉軽石以外の噴火の中で最大規模となる大山生竹テフラ(噴出量 $11.0\text{km}^3$ )を想定し、パラメータの不確かさを考慮して降灰層厚への影響について検討した結果、降灰層厚への影響が大きいパラメータは風向である。  
・風向の不確かさを考慮した検討として敷地方向への仮想風を考慮した火山灰シミュレーションを実施した結果、敷地における層厚は44.5cmとなった。

【降下火砕物の層厚評価における想定噴火規模】

- ・噴火履歴による検討結果等によると、原子力発電所の運用期間中には、大山倉吉軽石のような広域火山灰を降下させる規模の噴火を起こす可能性は極めて低いと考えられる。
- ・原子力発電所の運用期間中の規模として、敷地周辺において確認された大山松江軽石の噴出規模 $2.19\text{km}^3$ を想定し、火山灰シミュレーションを実施する。
- ・更に、大山倉吉軽石以外の噴火の中で最大規模となる大山生竹軽石(噴出量 $11.0\text{km}^3$ )の噴火の可能性も考慮する。

【文献調査結果・地質調査結果】

- ・地質調査の結果、敷地周辺の層厚は概ね文献と同等であり、敷地は等層厚線 $20\sim 35\text{cm}$ に位置し、大山松江テフラ(DMP)の敷地における層厚は $30\text{cm}$ 程度と推定される。また、敷地では降下火砕物は確認されていない。
- ・大山生竹テフラ(DNP)は、敷地及び敷地周辺では確認されていない。

【大山松江テフラに関する火山灰シミュレーション結果】

- ・現在の気象条件では、敷地の東方に位置する大山を給源とする降下火砕物が町田・新井(2011)や地質調査結果において確認されたような西向きの降灰分布にはならないことが火山灰シミュレーションからも確認された。

【大山生竹テフラに関する火山灰シミュレーション結果】

- ・風向の不確かさを考慮した検討として敷地方向への仮想風を考慮した火山灰シミュレーションを実施した結果、敷地における降灰層厚は $44.5\text{cm}$ となった。
- ・火山灰シミュレーションの結果、敷地における降灰層厚は最大 $44.5\text{cm}$ となることから、敷地における層厚は $45\text{cm}$ と評価する。



原子力発電所の運用期間中の規模として想定した大山生竹テフラ(噴出量 $11.0\text{km}^3$ )について、風向の不確かさ等を十分に考慮した場合のシミュレーション結果 $44.5\text{cm}$ を踏まえ、敷地における降下火砕物の層厚を $45\text{cm}$ とする。

No.	説明事項	説明方針
3	敷地において考慮する降下火碎物の層厚について	説明事項No.1～No.2を踏まえ、敷地において考慮する降下火碎物の層厚評価について整理する。

# 敷地において考慮する降下火砕物の層厚

・将来の活動可能性を否定できない火山について、原子力発電所の運用期間中の噴火規模を想定し、降下火砕物の影響評価を行う。  
・地理的領域内(半径160km以内)の三瓶山及び大山については、過去にVEI6規模の噴火が発生していることを踏まえ、詳細評価を行う。

対象火山 検討項目	三瓶山 (三瓶浮布テフラ)	大山 (大山松江テフラ, 大山生竹テフラ)
降下火砕物の 層厚評価における 想定噴火規模	<ul style="list-style-type: none"> <li>・噴火履歴による検討結果等によると、原子力発電所の運用期間中には、木次降下軽石のような広域火山灰を降下させる規模の噴火を起こす可能性は極めて低いと考えられる。</li> <li>・原子力発電所の運用期間中の規模として、木次降下軽石以外の噴火の中で降下火砕物として最大規模となる浮布降下火山灰(噴出量4.15km<sup>3</sup>)の噴火の可能性を考慮する。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・噴火履歴による検討結果等によると、原子力発電所の運用期間中には、大山倉吉軽石のような広域火山灰を降下させる規模の噴火を起こす可能性は極めて低いと考えられる。</li> <li>・原子力発電所の運用期間中の規模として、敷地周辺において確認された大山松江軽石の噴出規模2.19km<sup>3</sup>を想定し、火山灰シミュレーションを実施する。</li> <li>・更に、大山倉吉軽石以外の噴火の中で最大規模となる大山生竹軽石(噴出量11.0km<sup>3</sup>)の噴火の可能性も考慮する。</li> </ul>
文献調査 ・ 地質調査	<ul style="list-style-type: none"> <li>・三瓶浮布テフラは、敷地及び敷地近傍では確認されていない。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・地質調査の結果、大山松江テフラの敷地における層厚は30cm程度と推定される。</li> <li>・大山生竹テフラは、敷地及び敷地周辺では確認されていない。</li> </ul>
火山灰 シミュレーション	<ul style="list-style-type: none"> <li>・風向の不確かさを考慮した検討として敷地方向への仮想風を考慮した火山灰シミュレーションを実施した結果、敷地における層厚は33.5cmとなった。</li> <li>・火山灰シミュレーションの結果、敷地における降灰層厚は最大33.5cmとなることから、敷地における層厚は35cmと評価する。</li> </ul>	<p>【大山松江テフラ】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・火山灰シミュレーションの結果、偏西風の弱まる8月の降下量が最大となり、敷地における降灰層厚は0.1cmとなった。</li> <li>・現在の気象条件では、敷地の東方に位置する大山を給源とする降下火砕物が町田・新井(2011)や地質調査結果において確認されたような西向きの降灰分布にはならないことが火山灰シミュレーションからも確認された。</li> </ul> <p>【大山生竹テフラ】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・風向の不確かさを考慮した検討として敷地方向への仮想風を考慮した火山灰シミュレーションを実施した結果、敷地における降灰層厚は44.5cmとなった。</li> <li>・火山灰シミュレーションの結果、敷地における降灰層厚は最大44.5cmとなることから、敷地における層厚は45cmと評価する。</li> </ul>

## 敷地において考慮する降下火砕物の層厚

対象火山		評価結果
地理的領域内 (半径160km以内)	三瓶山	三瓶浮布テフラ(噴出量4.15km <sup>3</sup> )について、風向の不確かさ等を十分に考慮した場合のシミュレーション結果33.5cmを踏まえ、敷地における降下火砕物の層厚を35cmとする。
	大山	大山松江テフラ(噴出量2.19km <sup>3</sup> )について、地質調査の結果、敷地における層厚は30cm程度と推定される。 大山生竹テフラ(噴出量11.0km <sup>3</sup> )について、風向の不確かさ等を十分に考慮した場合のシミュレーション結果44.5cmを踏まえ、敷地における降下火砕物の層厚を45cmとする。
	三瓶山・大山 以外の火山	三瓶山・大山以外の火山からの降下火砕物は、島根半島には認められないとされることから、三瓶山・大山による敷地における降下火砕物の層厚を上回るものではないものと考えられる。
地理的領域外 (半径160km以遠)	鬼界カルデラ 始良カルデラ 阿多カルデラ 阿蘇カルデラ	鬼界カルデラ・始良カルデラ・阿多カルデラ・阿蘇カルデラは、発電所の運用期間中に破局的噴火が発生する可能性は極めて低いため、降下火砕物による敷地への影響はないものと考えられる。
	鬱陵島	鬱陵隠岐噴出時の火山灰は、敷地付近では層厚2cm以下とされている。火山灰シミュレーションを実施した結果、敷地における降下火砕物の層厚は0.1cm以下であった。



将来の活動可能性を否定できない火山について、発電所の運用期間中の噴火規模を想定し、降下火砕物の影響評価を行った結果、敷地において考慮する降下火砕物の層厚を45cmと評価する。

余白



No.	説明事項	説明方針
4	降下火砕物の粒径の設定について	原子力発電所の火山影響評価ガイド(一部改正)の気中降下火砕物濃度の推定手法を踏まえ、設備の影響評価に用いる粒径範囲を見直す。

## 降下火砕物の密度・粒径(既往評価)

降下火砕物の密度及び粒径については、敷地内で降下火砕物が確認されていないことから、既往の文献に基づいて設定した。

### 【密度】

宇井編(1997)<sup>(53)</sup>によると、乾燥した火山灰は密度が0.4~0.7であるが、湿ると1.2を超えることがあるとされていることから、安全側の値として以下のように設定した。

- ・湿潤密度: 1.5g/cm<sup>3</sup>
- ・乾燥密度: 0.7g/cm<sup>3</sup>

### 【粒径】

- ・鈴木ほか(1973)<sup>(54)</sup>によると、北海道樽前山の降下火砕物の噴出源から距離ごとの粒径分布曲線が示されており、これに基づき粒径を設定する。
- ・三瓶山から敷地までの距離は55km、大山から敷地までの距離は53kmであることから、鈴木ほか(1973)に示される図の58kmの粒径分布曲線から、以下のように設定した。

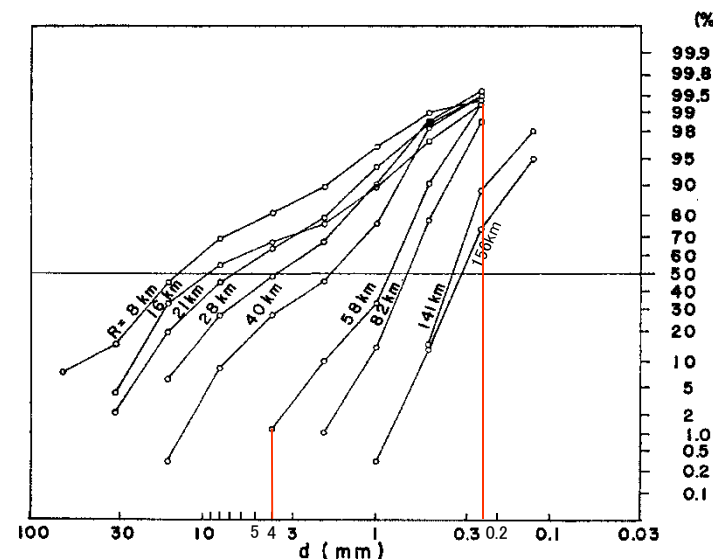
・粒径: 0.2mm~4mm

### 説明事項:

原子力発電所の火山影響評価ガイド(一部改正)の気中降下火砕物濃度の推定手法を踏まえ、設備の影響評価に用いる粒径範囲を見直す。

Table 1. Size composition of the Ta-b<sub>s</sub> fall unit along the distribution axis.

Locality	Distance from the source (km)	Modian (Md, mm)	Sorting coefficient (So = $\sqrt{Q_8/Q_1}$ )
0	8.0	14	2.0
I	15.9	10	2.6
II	21.0	7.0	2.3
III	28.2	3.8	2.3
IV	39.8	1.8	2.0
V	58.4	0.82	1.4
VI	81.9	0.66	1.3
VII	141	0.37	1.2
VIII	156	0.32	1.3



鈴木ほか(1973)より引用・加筆

# 降下火砕物の粒径の設定について

- ・「原子力発電所の火山影響評価ガイド(一部改正)」(原子力規制委員会(2017))では、原子力発電所において想定される気中降下火砕物濃度の推定手法が示されている。
- ・降下火砕物の層厚評価にあたっては、火山灰シミュレーション(Tephra2)により求めた降灰量を参照している。したがって、気中降下火砕物濃度の推定においても、「原子力発電所の火山影響評価ガイド(一部改正)」に従い、火山灰シミュレーション(Tephra2)により求めた降灰量と同時に算出される粒径分布を使用する。
- ・考慮する降下火砕物の最大粒径は、鈴木ほか(1973)に示される北海道樽前山の降下火砕物の噴出源から距離ごとの粒径分布曲線に基づき設定し、設備の影響評価に用いる粒径範囲を以下のとおり表記する。

【変更前】 粒径:0.2~4mm

【変更後】 粒径:4mm以下

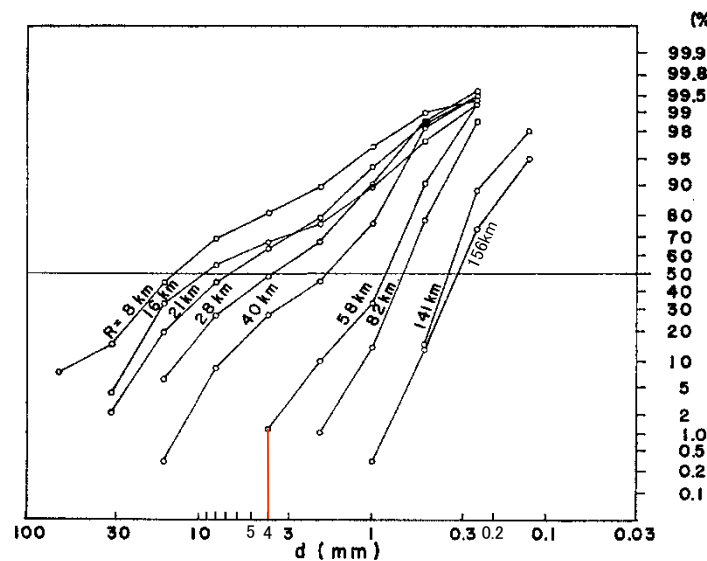
## 【粒径】

- ・鈴木ほか(1973)によると、北海道樽前山の降下火砕物の噴出源から距離ごとの粒径分布曲線が示されており、これに基づき最大粒径を設定する。
- ・三瓶山から敷地までの距離は55km、大山から敷地までの距離は53kmであることから、鈴木ほか(1973)に示される図の58kmの粒径分布曲線から、以下のように設定した。
- ・粒径:4mm以下

Table 1. Size composition of the Ta-b<sub>8</sub> fall unit along the distribution axis.

Locality	Distance from the source (km)	Modian (Md, mm)	Sorting coefficient (So = √Q <sub>8</sub> /Q <sub>1</sub> )
0	8.0	14	2.0
I	15.9	10	2.6
II	21.0	7.0	2.3
III	28.2	3.8	2.3
IV	39.8	1.8	2.0
V	58.4	0.82	1.4
VI	81.9	0.66	1.3
VII	141	0.37	1.2
VIII	156	0.32	1.3

## 【変更後】



鈴木ほか(1973)より引用・加筆

No.	説明事項	説明方針
参 考	火山灰シミュレーションTephra2のバグ修正に係る影響検討について	火山灰シミュレーションTephra2のバグ修正に伴う降灰層厚への影響を確認する。

1. 「Tephra2」のバグ概要	118
2. 三瓶山に関するバグ修正に係る影響確認	121
3. 大山に関するバグ修正に係る影響確認	139
4. 鬱陵島に関するバグ修正に係る影響確認	144
5. 他解析コードとの比較	149
6. 「Tephra2」のバグに関するまとめ	151

## 参考資料

・大気パラメータ	154
・噴煙柱高度	157
・敷地方向への仮想風(三瓶山)	161

余白

- ・降下火砕物の影響評価にあたって当社は、アメリカの南フロリダ大学が公開しているプログラム「Tephra2」を用いて火山灰シミュレーションを実施し、敷地における降灰層厚を評価している。
- ・萬年(2013)によると、「Tephra2」は、移流拡散モデルを用いた降下火山灰シミュレーションコードであり、火山灰の風による移動(移流)と空中に広がる現象(拡散)を計算するモデルであるとされている。
- ・「Tephra2」の移動拡散モデルについて、風向きと速度は各高度で一定と仮定され、拡散は水平方向のみが考慮されている。
- ・「Tephra2」は、風について単純なモデルしか仮定できないが、火山周辺100kmのオーダーで風向きが大きく変わるといことは考えにくいいため、100kmのオーダー以下で考える場合、一定の実用性があるとされている。

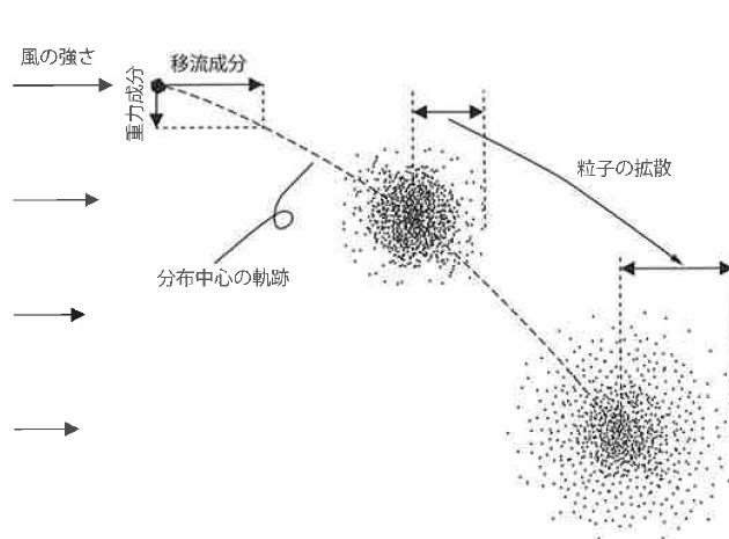


図1 移流拡散モデルの概念図

粒子の分布中心の軌跡は、重力による落下と風による移流によって決まる。粒子の一回は時間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。

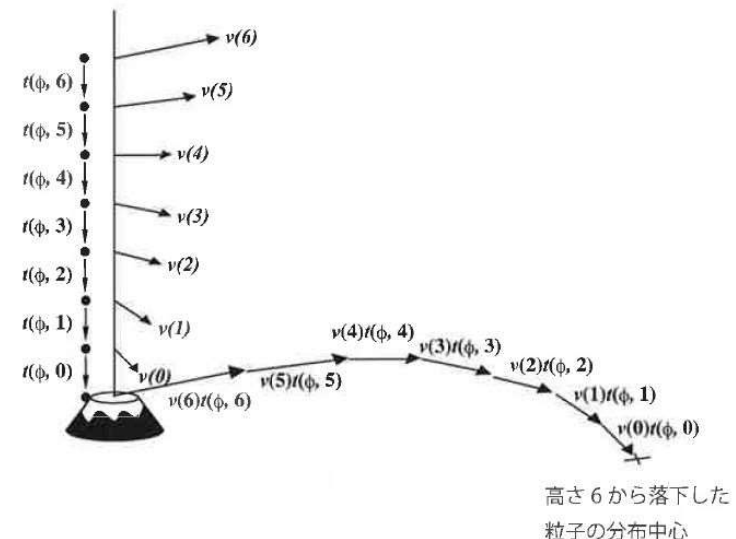


図3 移流の概念図

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)より引用

- ・日本火山学会2016年秋季大会のポスターセッションにて、大阪大学の佐伯准教授が、「Tephra2」解析コードの粒子の落下速度を表す式に一部バグがあると発表した。
- ・この指摘を受け、当社使用の「Tephra2」解析コードを確認したところ、同様のバグを確認した。

粒子の落下速度 (  $V_t$  )

正しい計算式

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

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

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

大気密度 ( $\rho_a$ ) が分母ではなく分子に乗っていた。

今回の誤った計算式

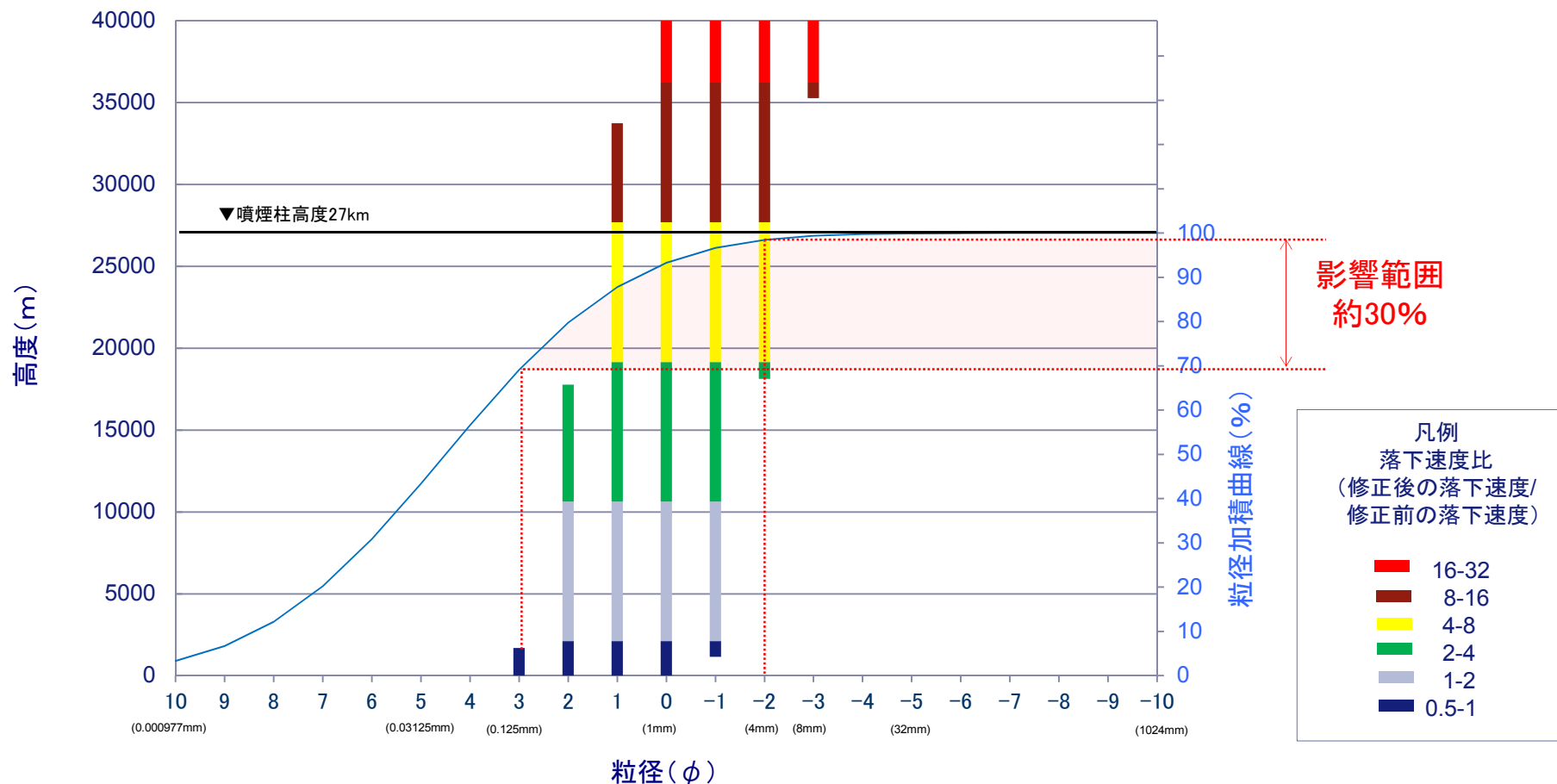
$$V_t = \frac{gd^2(\rho_p - \rho_a)}{18\mu} \quad R_e < 6$$

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

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

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



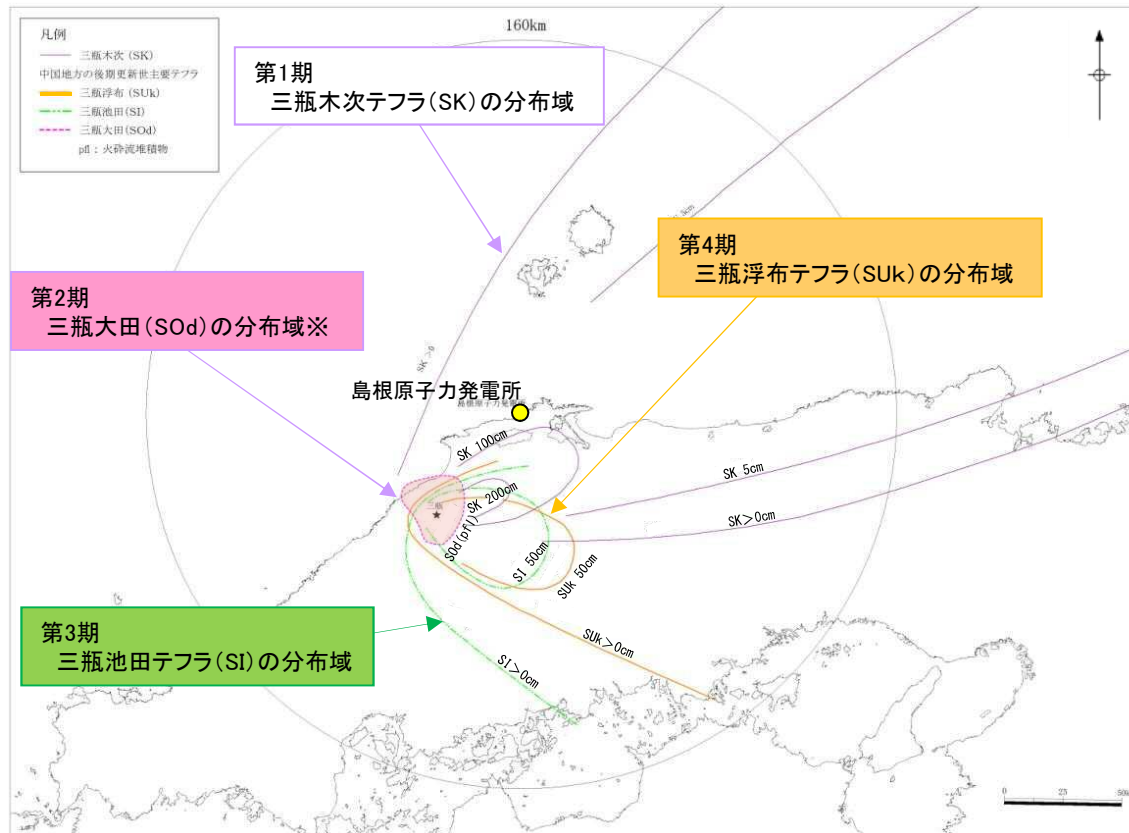


- ・バグの影響範囲を確認するため、バグ修正前後の粒子の落下速度比(修正後の落下速度/修正前の落下速度)について、粒径と高度の関係を整理した。
- ・その結果、噴煙柱高度27km(三瓶山の基本ケース)においては、粒径が3phi(0.125mm)～ -2phi(4mm) の粒子の落下速度に変化が生じた。
- ・解析に用いた粒子のうち、約30%がバグの影響を受ける。また、粒子の落下速度比が1以上のものが大部分を占める。

## 2. 三瓶山に関するバグ修正に係る影響確認 三瓶山の降下火砕物の影響評価

バグの影響分析を行うため、これまで火山灰シミュレーションを実施してきた、三瓶山、大山及び鬱陵島の発電所運用期間中に想定される噴出規模を対象に、バグ修正前後の敷地における降灰層厚を比較検討し、バグの影響を確認する。

三瓶山を対象に、バグ修正前後における火山灰シミュレーション結果の比較検討を実施し、バグの影響を確認した。



※三瓶大田(SOd): 火砕流堆積物(pfl)分布域として記載  
(服部ほか(1983)によると、「降下火山灰層の分布面積・層厚は著しく小さい。」とされている。)

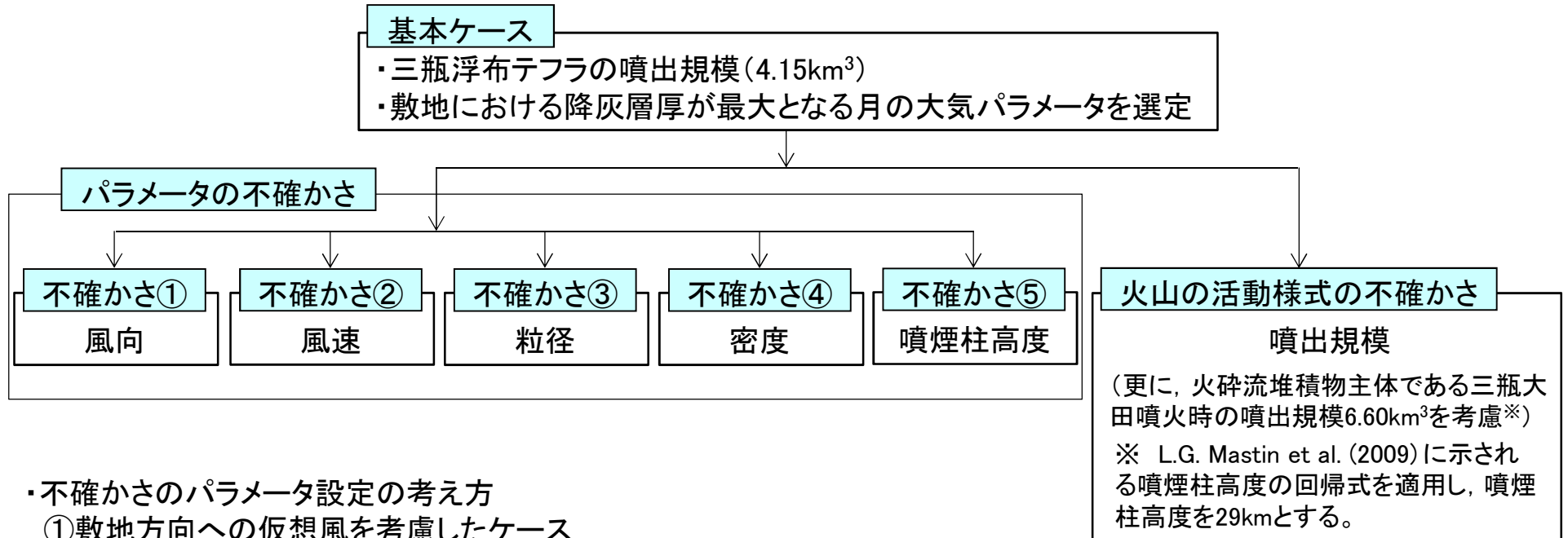
図 3.2-1 中国地方の後期更新世主要テフラの等層厚線図。  
SUK 三瓶浮布<sup>1,4,7)など</sup> SI 三瓶池田<sup>1)など</sup> SOd 三瓶大田<sup>1)など</sup> (点線内が pfl 分布域)  
DSP 大山関金<sup>2,3)</sup> DNP 大山生竹<sup>2,3)</sup> DMP 大山松江<sup>2,3)</sup> D:大山, S:三瓶  
[1] 林・三浦(1987), 2) 町田・新井(1979), 3) 津久井(1984), 4) 竹村ほか(1994), 5) 吉川ほか(1986), 6) Ooi(1992), 7) 加藤ほか(1996)]

町田・新井(2011)よりテフラの等層厚線を引用・加筆

・原子力発電所の運用期間中の規模として、木次降下軽石以外の噴火の中で降下火砕物として最大規模となる浮布降下火山灰(以下、三瓶浮布テフラ)の噴火の可能性を考慮し、火山灰シミュレーションを実施する。

・敷地は三瓶山の風下側に位置し、風向によっては降灰が想定されることから、敷地における降灰層厚が最大となる月の大気パラメータを用いたシミュレーションを基本ケースとし、パラメータの不確かさを考慮して降灰層厚への影響について検討する。

・三瓶大田(噴出規模 $6.60\text{km}^3$ )については、火砕流堆積物主体であるが降下火砕物を含むことから、火山の活動様式の不確かさとして、その噴出規模を考慮する。



- ・不確かさのパラメータ設定の考え方
  - ①敷地方向への仮想風を考慮したケース
  - ②基本ケースの風速を $1\sigma$ 増減させたケース
  - ③Tephra2による推奨値の粒径範囲(珪長質:  $-10\sim 10\phi$ )に対し、推奨限界値( $-6\sim 6\phi$ )を設定したケース
  - ④粒径に基づき設定される粒子密度( $1,000\sim 2,600\text{kg}/\text{m}^3$ )に対し、密度均一( $1,000\text{kg}/\text{m}^3$ ,  $2,600\text{kg}/\text{m}^3$ )を設定したケース
  - ⑤基本ケースの噴煙柱高度 $27\text{km}$ に対し、 $20\text{km}$ ,  $25\text{km}$ ,  $30\text{km}$ を設定したケース

## 火山灰シミュレーションの概要

- ・シミュレーションのプログラム: Tephra2(バグ修正後プログラム)
- ・想定する噴火規模: 三瓶浮布テフラ(総噴出量: 4.15km<sup>3</sup>※1)
- ・各パラメータ(地形, 噴煙柱, 粒子, 大気): 下表のとおり

※1 保守的に溶岩を含む総噴出量を設定

※3 L.G. Mastin et al. (2009) に示される噴煙柱高度の回帰式  $H(\text{km}) = 25.9 + 6.64 \log_{10}(V(\text{km}^3 \text{DRE}))$

見かけ体積は、第四紀火山カタログ編集委員会編(1999)による。  
計算により算出

各パラメーター一覧表

対象とする火山		三瓶山		引用した文献・資料など
想定する噴火規模		SUK(溶岩ドーム含む)		
地形 パラメータ	地形モデル解析	m	1,000	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
	火口位置X	m	283,297	
	火口位置Y	m	3,891,189	
	火口位置Z	m	1,126	
噴煙柱 パラメータ	噴煙柱上端の標高	m	27,000	右表参照
	噴出物の総重量	kg	4.2E+12	右表参照
	最大粒径	phi	-10(2 <sup>10</sup> mm=1024mm)	TEPHRA2による推奨値※2
	最小粒径	phi	10(2 <sup>-10</sup> mm=9.77 × 10 <sup>-4</sup> mm)	
	中央粒径	phi	4.5(2 <sup>-4.5</sup> mm=0.0442mm)	
標準偏差	phi	3(2 <sup>-3</sup> mm=0.125mm)		
粒子 パラメータ	渦拡散係数	m <sup>2</sup> /s	0.04	T.Suzuki(1983) より
	拡散係数	m <sup>2</sup> /s	500	萬年(2013) より
	Fall Time Threshold	s	3,600	C.Bonadonna et al.(2005) より
	岩片の見かけ密度	kg/m <sup>3</sup>	2,600	TEPHRA2による推奨値※2
	軽石の見かけ密度	kg/m <sup>3</sup>	1,000	
大気 パラメータ	風速	m/s	高度ごとに月平均風速(9時, 21時)の平均値	気象庁公開データ(1988.1~2013.6) ・松江(2010.3~)&米子(1988.1~2010.2) ・高度は指定気圧面を計算式により変換した高度
	風向	度	高度ごとに月平均風向(9時, 21時)の最頻値	
	季節条件		1月~12月	

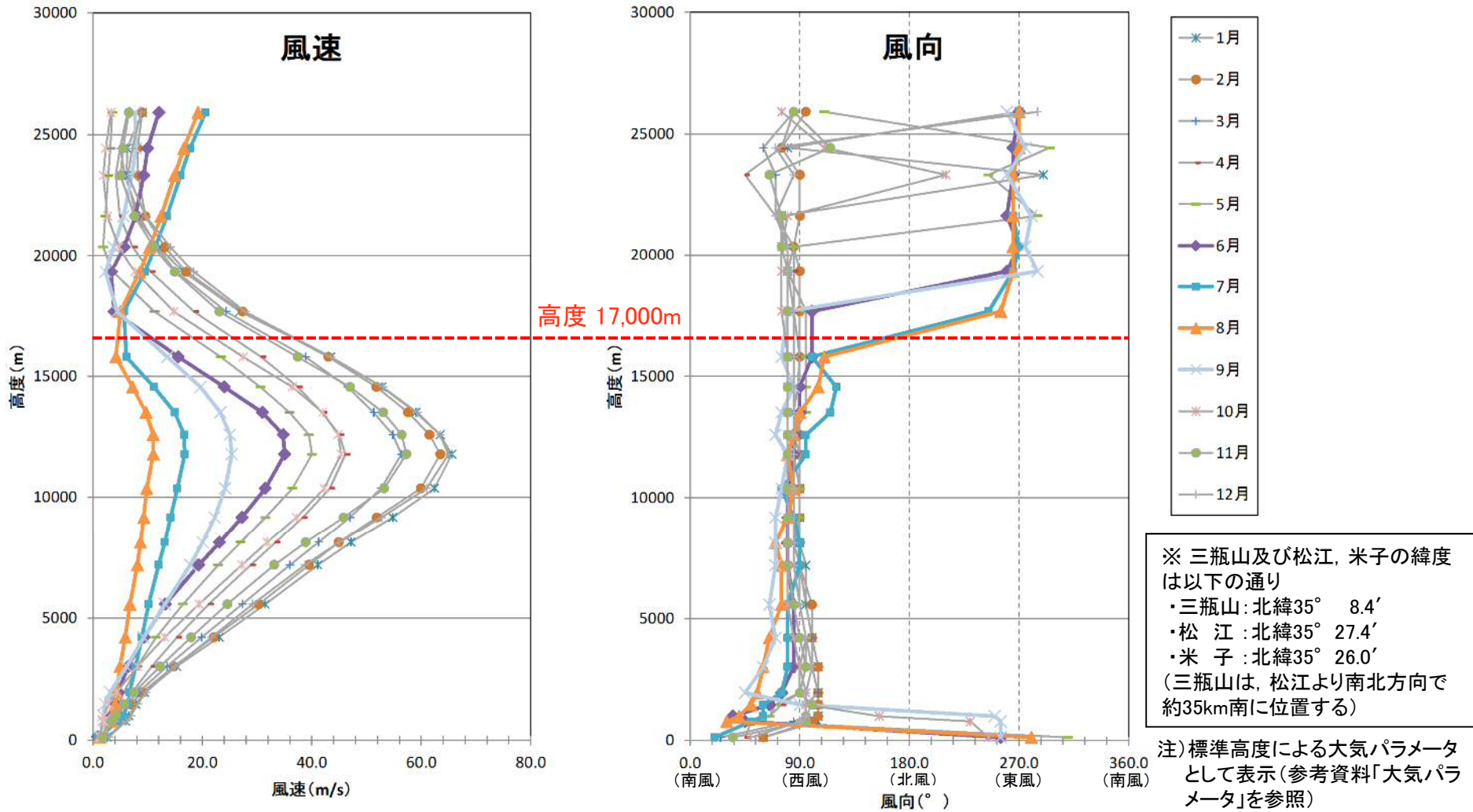
※2 Tephra2 Users Manual Spring 2011(University of South Florida)より

対象とする火山	三瓶山	
想定する噴火規模	SUK	備考
噴煙柱高度 H (km)※3	27	
見かけ体積 V1 (km <sup>3</sup> )	4.15	
見かけ体積 V2 (km <sup>3</sup> DRE)	1.60	
噴出物総重量 (kg)	4.2E+12	

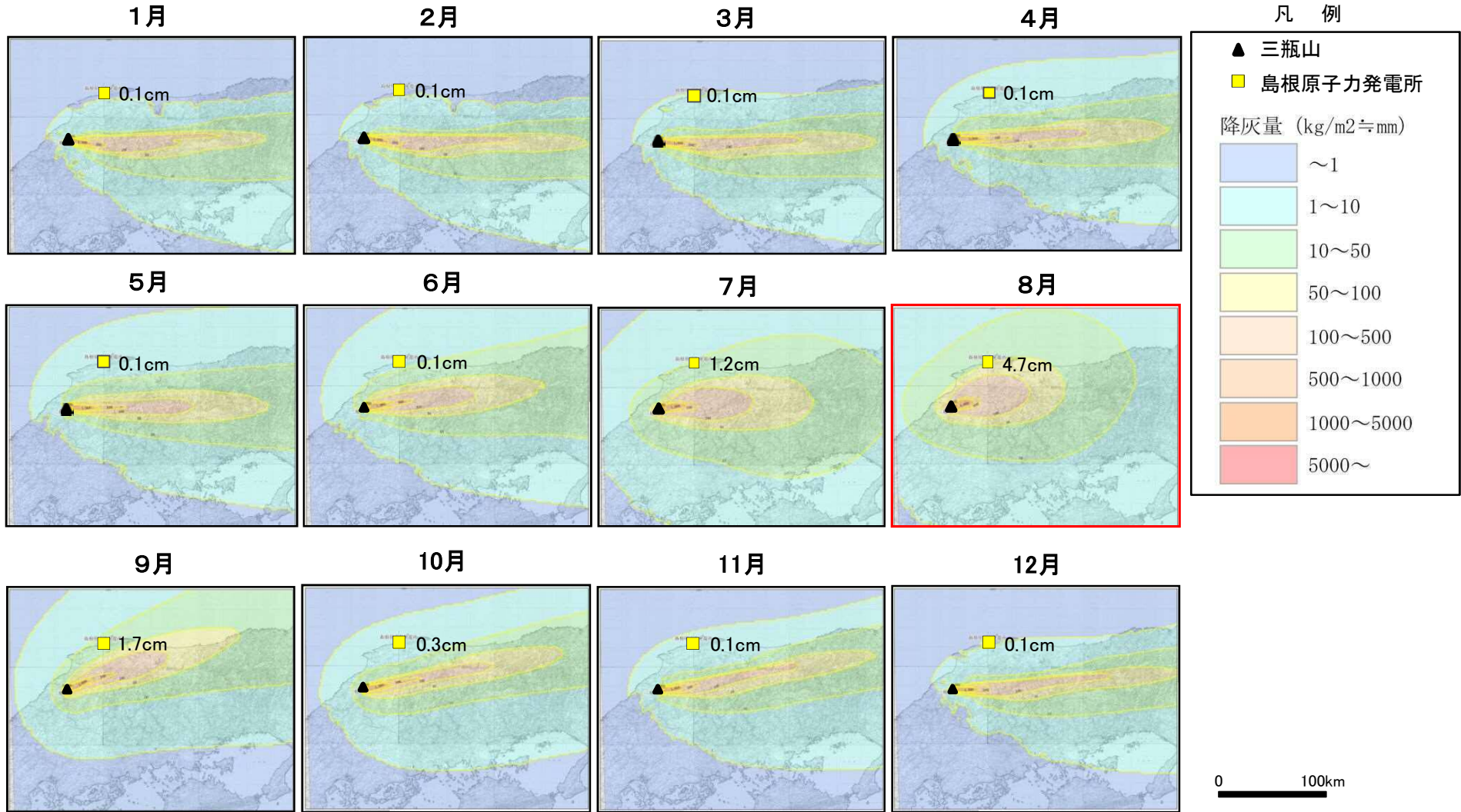
換算値		
岩片の見かけ密度	2,600	kg/m <sup>3</sup>
降下火砕物の見かけ密度	1,000	kg/m <sup>3</sup>

# 三瓶山に関する火山灰シミュレーション(大気パラメータ)

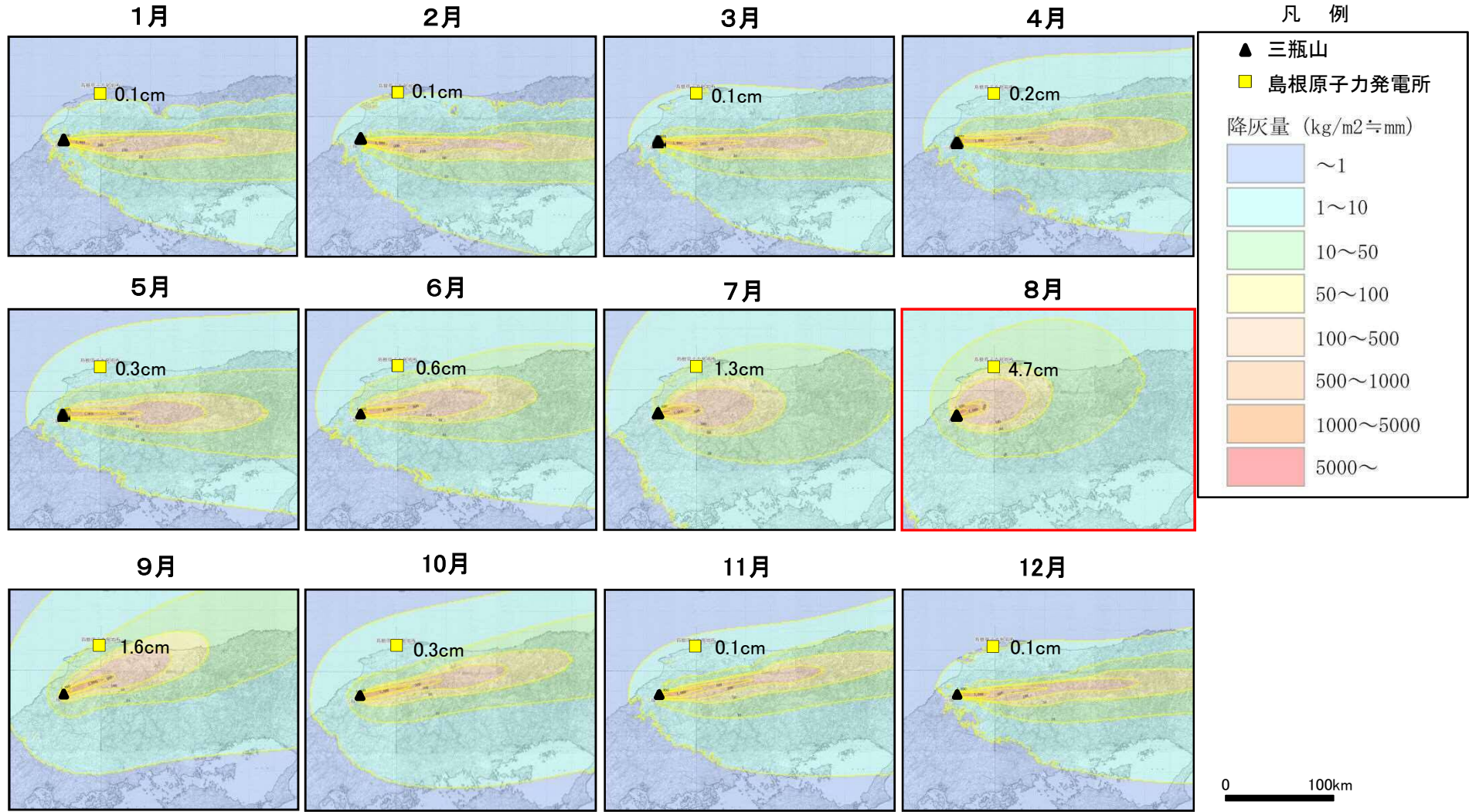
大気パラメータは、三瓶山と比較的緯度が近い※、気象庁の米子観測所(1988年1月～2010年2月)及び松江観測所(2010年3月～2013年6月)のデータを用いた。風速は高度毎の9時, 21時の月平均風速の平均値, また風向は高度毎の9時, 21時の月平均風向の最頻値を使用した。なお, 風向・風速データの最高高度(約26,000m)を上回る範囲の風向・風速の設定が敷地における降灰層厚に及ぼす影響はほとんどないと考えられることから(次頁以降参照), 最高点の風向・風速値が高さ方向に一定である(変化しない)ものとして取り扱った。偏西風の風速が大きい約17,000m以下の高度では, 年間を通じて西風が卓越する。



## 基本ケースの検討結果



## 基本ケースの検討結果



・バグ修正前後とも偏西風の弱まる8月の降下量が最大となり、敷地における降灰層厚についてもバグ修正前後で同値となった。  
 ・敷地における降灰層厚が最大となった8月の大気パラメータを不確かさを考慮する際の基本ケースとして選定する。

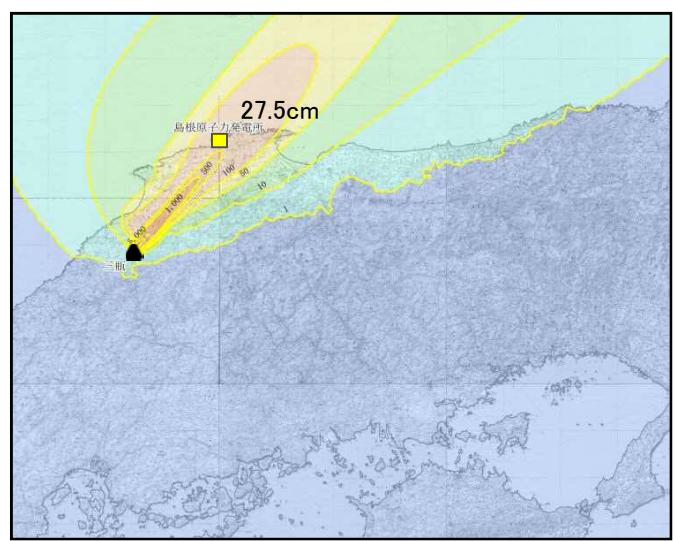
# バグ修正に伴う影響(不確かさ①<風向>)

風向の不確かさを考慮した検討結果(標準高度※1による大気パラメータ)

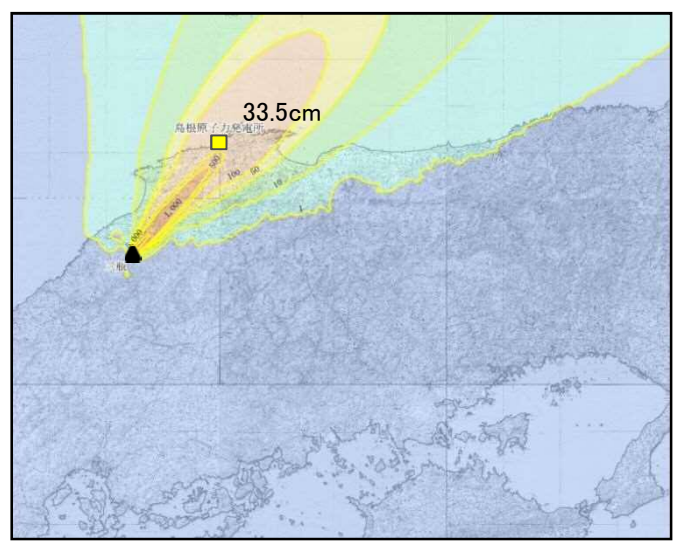
風向の不確かさを考慮した検討として、敷地方向への仮想風※2を考慮した検討を実施した。

※1 参考資料「大気パラメータ」を参照  
※2 参考資料「敷地方向への仮想風」を参照

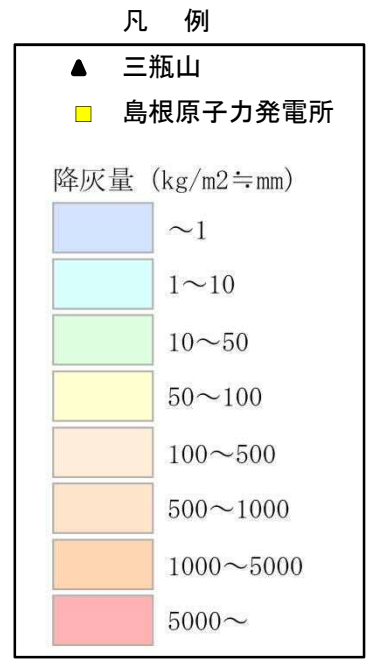
バグ修正前



バグ修正後



0 50km



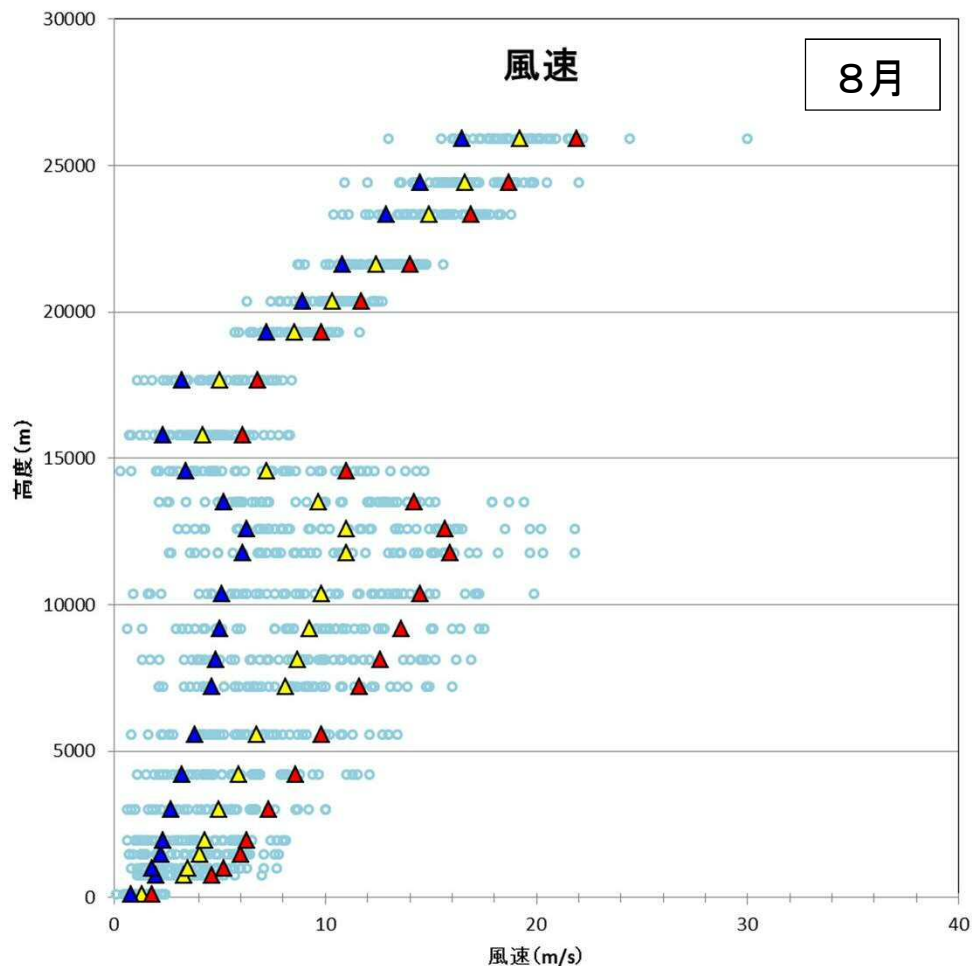
・風向の不確かさを考慮した検討として、敷地方向への仮想風を考慮した火山灰シミュレーションを実施した結果、バグ修正後の敷地における降灰層厚はバグ修正前の結果(27.5cm)を上回る33.5cmとなった。



# バグ修正に伴う影響(不確かさ②<風速>)

## 風速の不確かさを考慮した検討

風速の不確かさを考慮した検討として、敷地における降灰層厚が最大となった8月の大気パラメータを対象に、風速を $-1\sigma$ ,  $1\sigma$ 変化させたケースの検討を実施した。



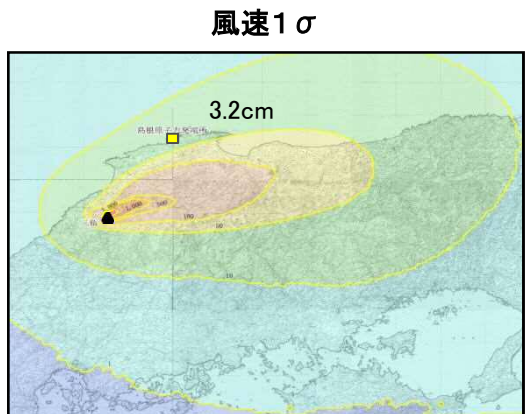
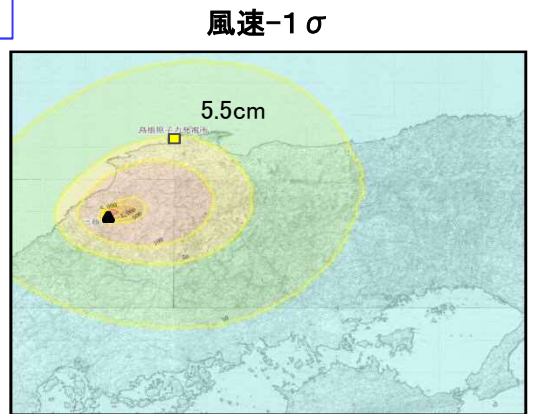
- 凡例
- : 月平均風速
  - △ : 月平均風速の平均値
  - △ : 月平均風速の平均値 + 1σ
  - △ : 月平均風速の平均値 - 1σ

注) 標準高度による大気パラメータとして表示

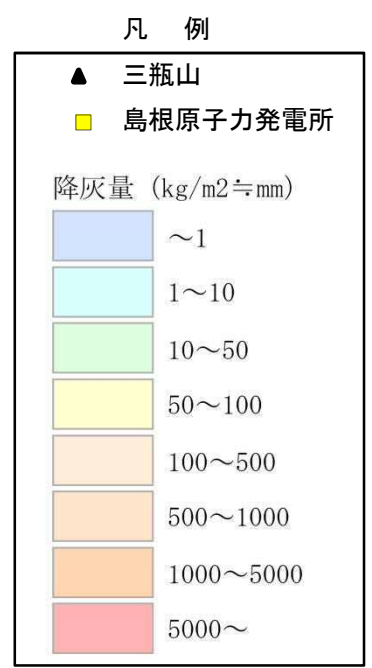
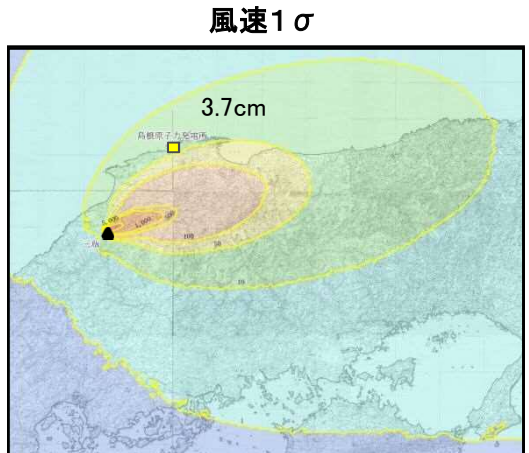
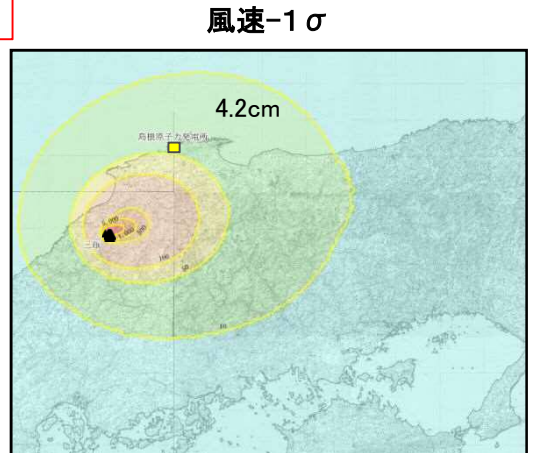
# バグ修正に伴う影響(不確かさ②<風速>)

## 風速の不確かさを考慮した検討結果(±1σ)

バグ修正前



バグ修正後



0 50km

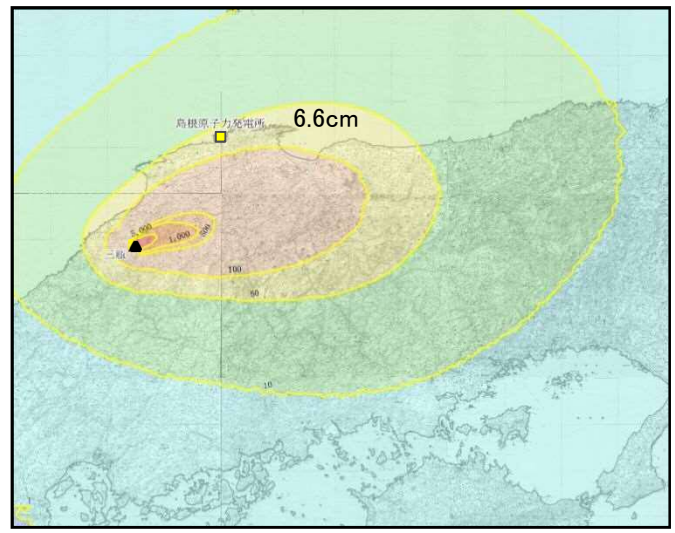
・風速の不確かさを考慮した検討として、風速を-1σ, 1σ変化させた火山灰シミュレーションを実施した結果、バグ修正前後の敷地における降灰層厚は同程度(最大1.3cm差)となった。

# バグ修正に伴う影響(不確かさ③<粒径>)

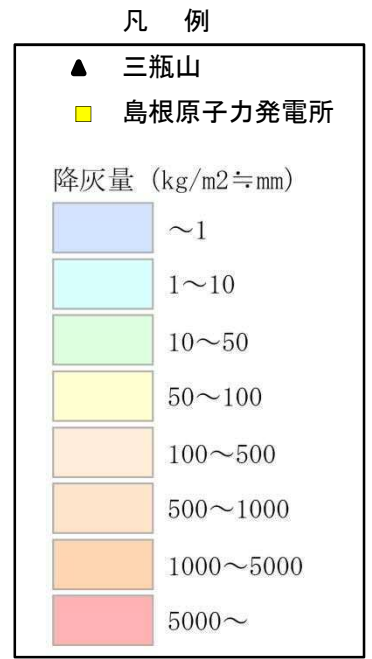
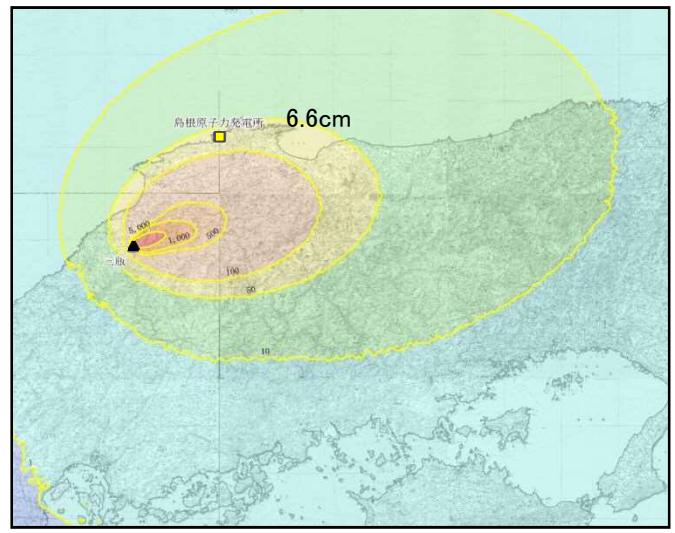
## 粒径の不確かさを考慮した検討結果

粒径の不確かさを考慮した検討として、Tephra2による推奨値の粒径範囲(最大粒径:-10phi( $2^{10}$ mm), 最小粒径:10phi( $2^{-10}$ mm))に対し、推奨限界値(最大粒径:-6phi( $2^6$ mm), 最小粒径:6phi( $2^{-6}$ mm))を設定したケースの検討を実施した。

バグ修正前



バグ修正後



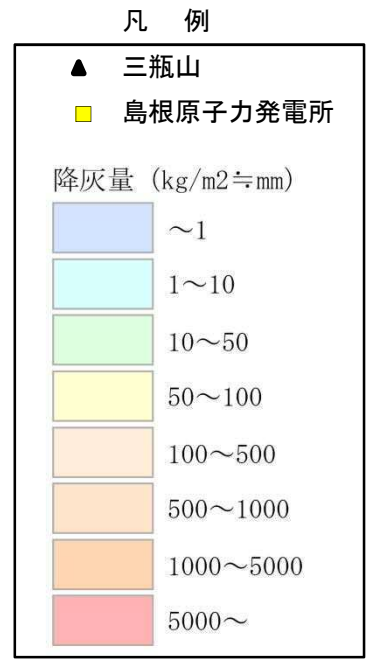
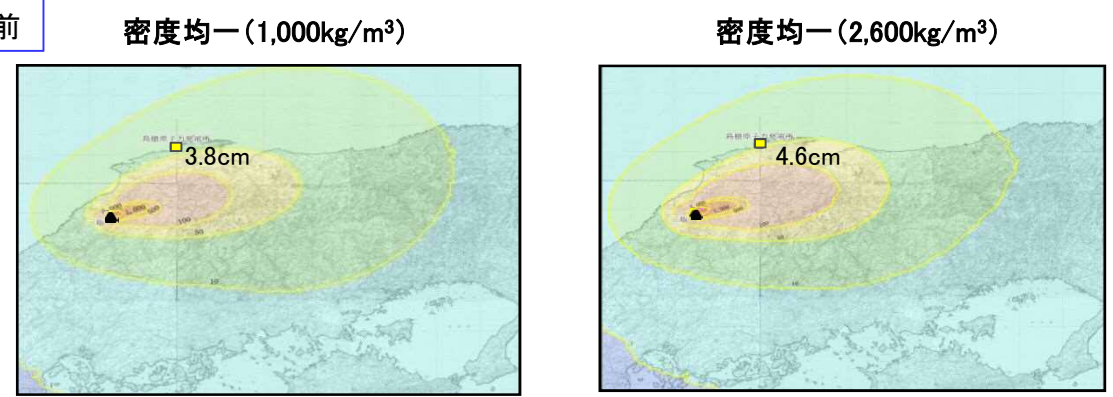
・粒径の不確かさを考慮した検討として、粒径範囲を変化させた火山灰シミュレーションを実施した結果、バグ修正前後の敷地における降灰層厚は同値となった。

# バグ修正に伴う影響(不確かさ④<密度>)

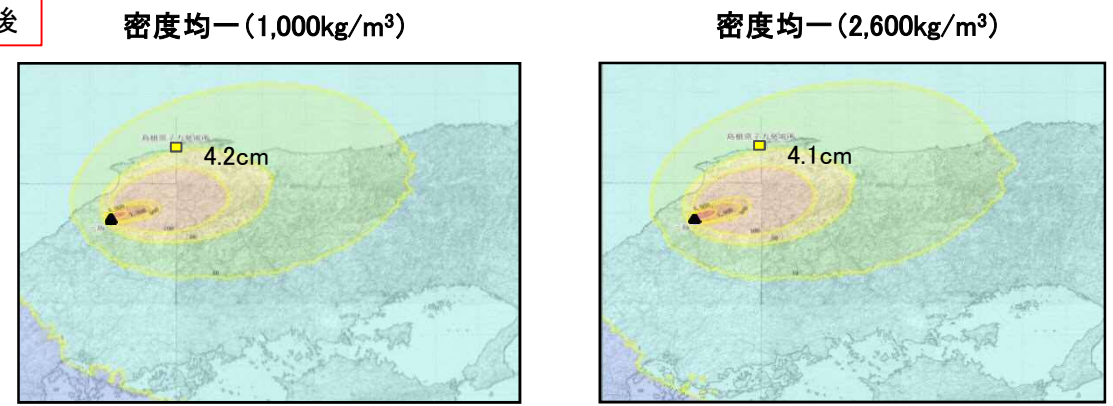
## 密度の不確かさを考慮した検討結果

密度の不確かさを考慮した検討として、粒径に基づき設定される岩片・軽石粒子密度(1,000~2,600kg/m<sup>3</sup>)に対し、密度均一(1,000kg/m<sup>3</sup>, 2,600kg/m<sup>3</sup>)を設定したケースの検討を実施した。

バグ修正前



バグ修正後



0 50km

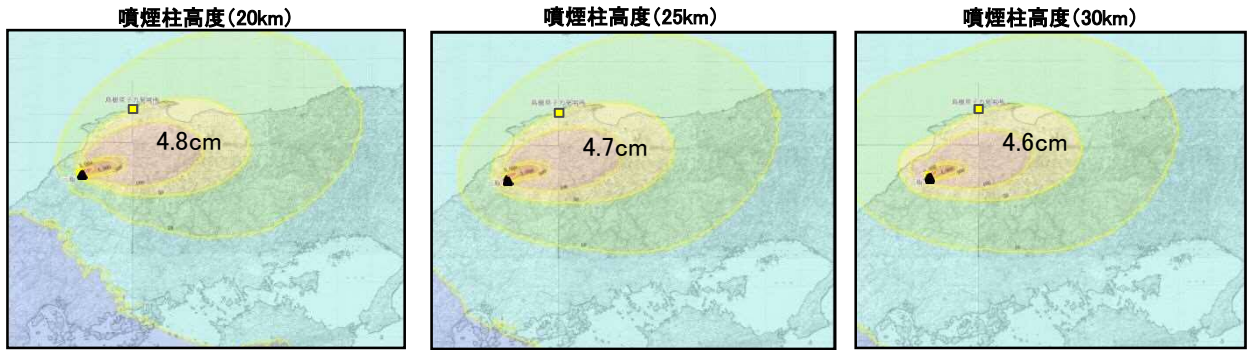
・密度の不確かさを考慮した検討として、岩片・軽石粒子密度を均一とした火山灰シミュレーションを実施した結果、バグ修正前後の敷地における降灰層厚は同程度(最大0.5cm差)となった。

# バグ修正に伴う影響(不確かさ⑤<噴煙柱高度>)

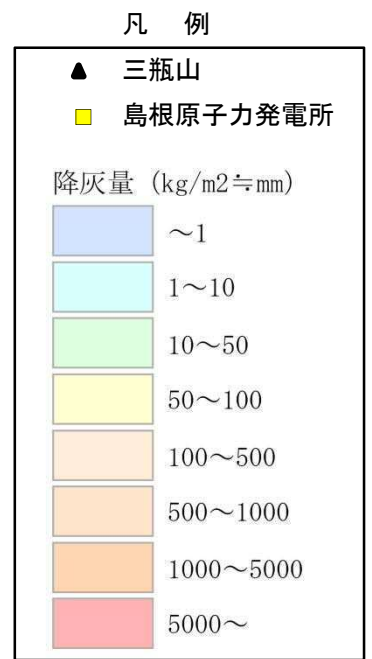
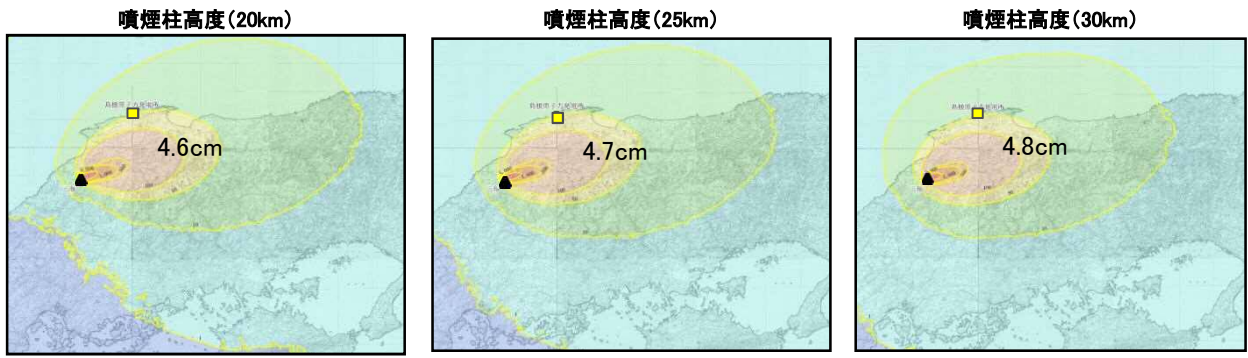
## 噴煙柱高度の不確かさを考慮した検討結果

噴煙柱高度の不確かさを考慮した検討として, L.G. Mastin et al. (2009)に示される噴煙柱高度の回帰式より設定した噴煙柱高度27kmに対し, 噴火規模VEI5相当の総噴出量(1~10km<sup>3</sup>)に対応する噴煙柱高度(回帰式)は23~30kmであることから, 20km, 25km, 30kmを設定したケースの検討を実施した。

### バグ修正前



### バグ修正後



0 50km

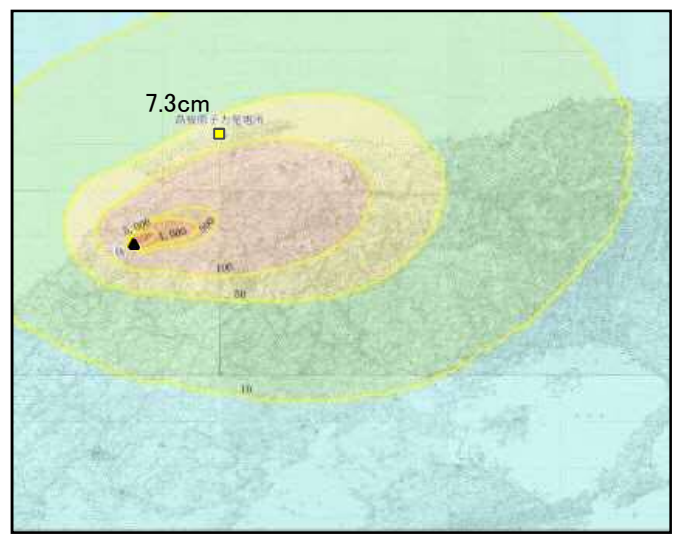
・噴煙柱高度の不確かさを考慮した検討として, 噴煙柱高度を変化させた火山灰シミュレーションを実施した結果, バグ修正前後の敷地における降灰層厚は同程度(最大0.2cm差)となった。

# バグ修正に伴う影響(火山の活動様式の不確かさ)

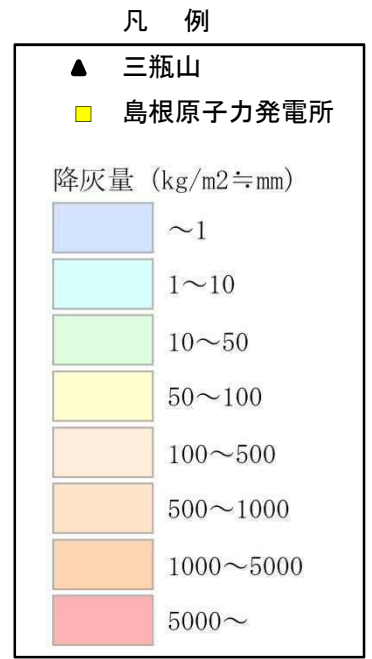
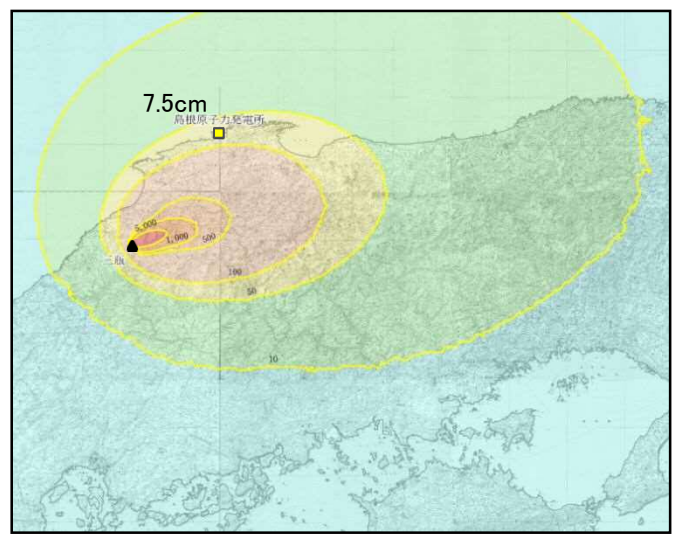
## 火山の活動様式の不確かさを考慮した検討結果

火山の活動様式の不確かさを考慮した検討として、三瓶浮布テフラの噴出規模(4.15km<sup>3</sup>)に対し、火砕流堆積物主体である三瓶大田(SOd)の噴出規模6.60km<sup>3</sup>を考慮したケースの検討を実施した。

バグ修正前



バグ修正後

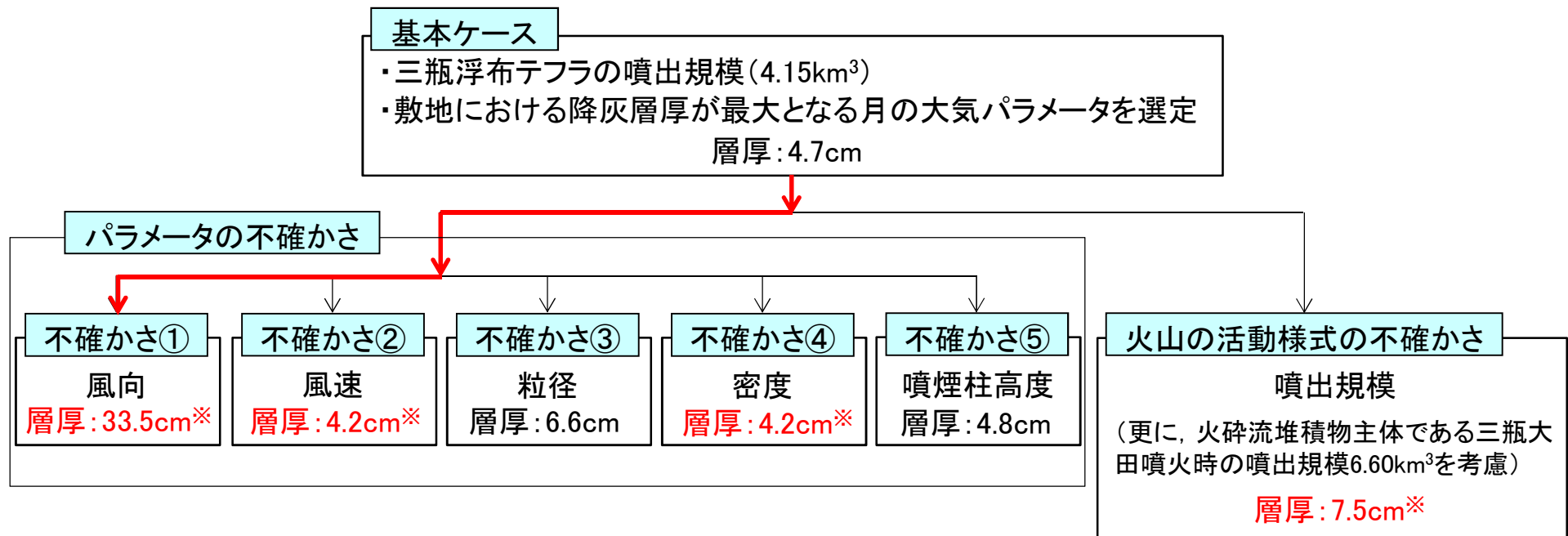


・火山の活動様式の更なる不確かさを考慮した検討として、火砕流堆積物主体である三瓶大田(Sod)の噴出規模を考慮した火山灰シミュレーションを実施した結果、バグ修正前後の敷地における降灰層厚は同程度(0.2cm差)となった。

## 三瓶山に関する火山灰シミュレーション結果(不確かさの考慮)

- ・原子力発電所の運用期間中の規模として、木次降下軽石以外の噴火の中で降下火砕物として最大規模となる三瓶浮布テフラ(噴出量 $4.15\text{km}^3$ )を想定した火山灰シミュレーションの結果、偏西風の弱まる8月の降下量が最大となり、敷地における降灰層厚はバグ修正前の結果と同様に $4.7\text{cm}$ となった。
- ・8月の大気パラメータを用いたシミュレーションを不確かさを考慮する際の基本ケースとし、パラメータの不確かさを考慮して降灰層厚への影響について検討した結果、降灰層厚への影響が大きいパラメータは風向であり、風向の不確かさ(敷地方向への仮想風)を考慮した検討において、敷地における降灰層厚はバグ修正前の結果( $27.5\text{cm}$ )を上回る $33.5\text{cm}$ となった。
- ・火山の活動様式の更なる不確かさとして火砕流堆積物主体である三瓶大田の噴出規模 $6.60\text{km}^3$ を考慮した検討を実施した結果、敷地における層厚はバグ修正前の結果( $7.3\text{cm}$ )と同程度の $7.5\text{cm}$ となった。

・風向の不確かさを考慮した検討において、敷地における降灰層厚が最大となることから、ジオポテンシャル高度による大気パラメータにより火山灰シミュレーションを実施し、標準高度による大気パラメータを用いた火山灰シミュレーション結果の妥当性を確認する。



※バグ修正後の値に変更

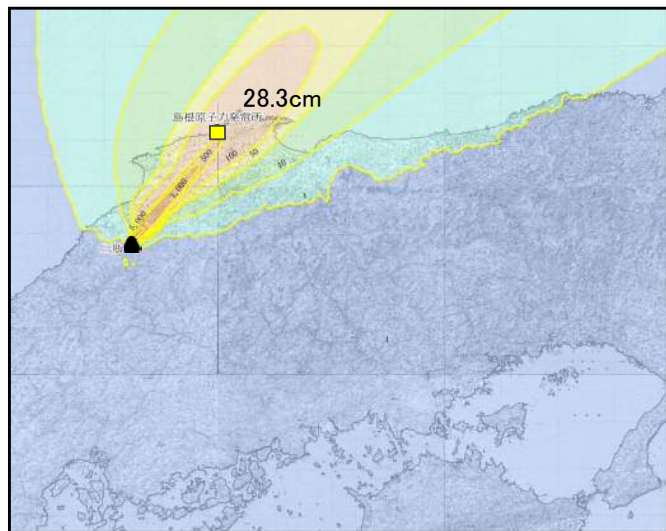
# バグ修正に伴う影響(不確かさ①<風向>の妥当性確認)

## 風向の不確かさを考慮した検討結果(ジオポテンシャル高度\*による大気パラメータ)

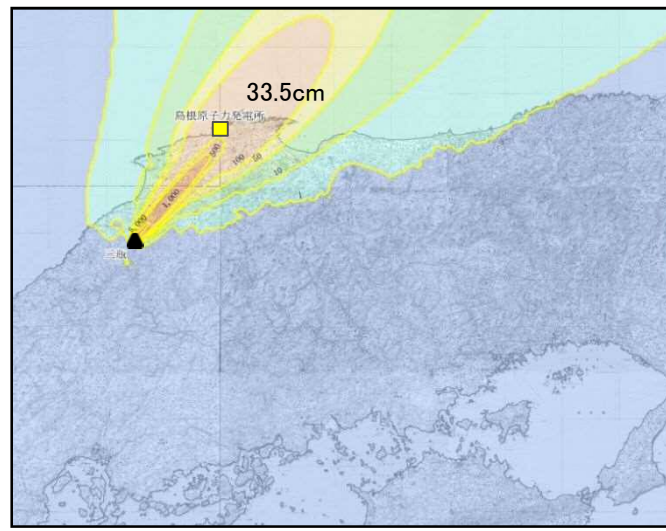
風向の不確かさを考慮した検討において、敷地における降灰層厚が最大となることから、ジオポテンシャル高度による大気パラメータにより火山灰シミュレーションを実施し、標準高度による大気パラメータを用いた火山灰シミュレーション結果の妥当性を確認した。

※ 参考資料「大気パラメータ」を参照

バグ修正前

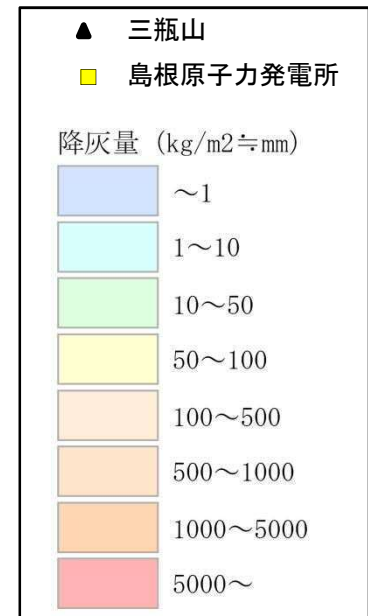


バグ修正後



0 50km

### 凡例



・ジオポテンシャル高度による大気パラメータにより火山灰シミュレーションを実施した結果、バグ修正後の敷地における降灰層厚はバグ修正前の結果(28.3cm)を上回る33.5cmとなった。

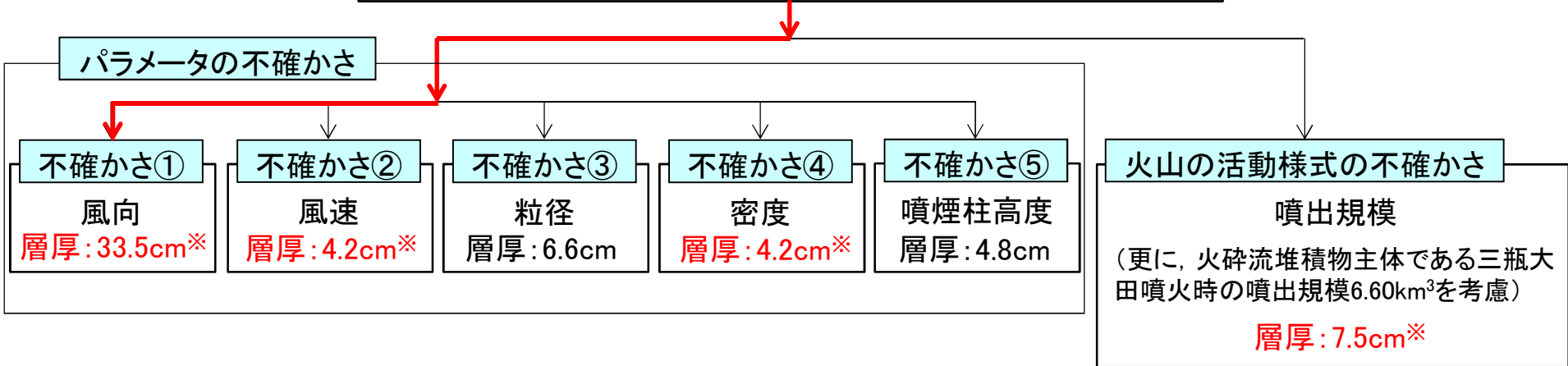


# 三瓶山に関する火山灰シミュレーション結果(まとめ)

原子力発電所の運用期間中の規模として、木次降下軽石以外の噴火の中で降下火砕物として最大規模となる三瓶浮布テフラ(噴出量 $4.15\text{km}^3$ )を想定し、各種の不確かさを考慮した火山灰シミュレーションにより降下火砕物の影響評価を行った。

**基本ケース**

- ・三瓶浮布テフラの噴出規模( $4.15\text{km}^3$ )
- ・敷地における降灰層厚が最大となる月の大気パラメータを選定  
層厚:  $4.7\text{cm}$



※バグ修正後の値に変更

・風向の不確かさを考慮した検討として敷地方向への仮想風を考慮した火山灰シミュレーションを実施した結果、バグ修正後の敷地における降灰層厚はバグ修正前の結果( $28.3\text{cm}$ (ジオポテンシャル高度による大気パラメータ))を上回る $33.5\text{cm}$ となった。

# 三瓶山に関するバグ修正前後の結果(まとめ)

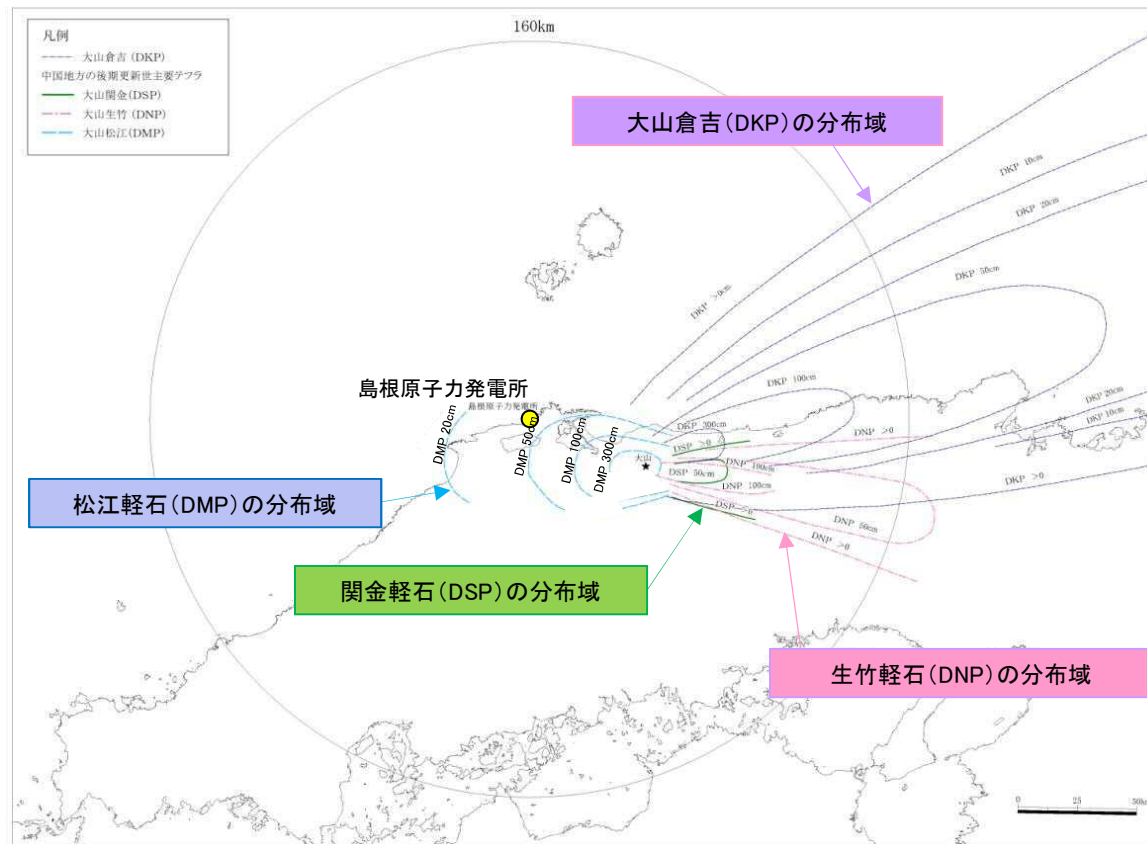
検討項目		修正前	修正後	
基本ケース	1月	0.1cm	0.1cm	
	2月	0.1cm	0.1cm	
	3月	0.1cm	0.1cm	
	4月	0.2cm	0.2cm	
	5月	0.3cm	0.3cm	
	6月	0.7cm	0.6cm	
	7月	1.2cm	1.3cm	
	8月	4.7cm	4.7cm	
	9月	1.7cm	1.6cm	
	10月	0.3cm	0.3cm	
	11月	0.1cm	0.1cm	
	12月	0.1cm	0.1cm	
不確かさの検討	風向	敷地方向への仮想風 (標準高度)	27.5cm	33.5cm
	風速	±1σ	5.5cm	4.2cm
	粒径	推奨限界値	6.6cm	6.6cm
	密度	密度均一	4.6cm	4.2cm
	噴煙柱高度	20,25,30km	4.8cm	4.8cm
	活動様式	6.60km <sup>3</sup>	7.3cm	7.5cm
妥当性確認	風向	敷地方向への仮想風 (ジオポテンシャル高度)	28.3cm	33.5cm

- ・基本ケースに関して、バグ修正前後の敷地における降灰層厚は同程度(最大0.1cm差)となった。
- ・風速の不確かさを考慮した検討として、敷地方向への仮想風を考慮した火山灰シミュレーションを実施した結果、バグ修正後の敷地における降灰層厚はバグ修正前の結果(28.3cm(ジオポテンシャル高度による大気パラメータ))を上回る33.5cmとなった。

余白

### 3. 大山に関するバグ修正に係る影響確認 大山の降下火砕物の影響評価

大山を対象に、バグ修正前後における火山灰シミュレーション結果の比較検討を実施し、バグの影響を確認した。



町田・新井(2011)よりテフラの等層厚線を引用・加筆

・原子力発電所の運用期間中の規模として、敷地周辺において確認された大山松江軽石（以下、大山松江テフラ）の噴出規模 $2.19\text{km}^3$ を想定する※。

※ 不確かさを考慮した検討結果は、説明事項No.2「大山生竹テフラの噴出規模に関する新知見等を踏まえた検討について」に示す。

## 火山灰シミュレーションの概要

- ・シミュレーションのプログラム:Tephra2 (バグ修正後プログラム)
- ・想定する噴火規模:大山松江テフラ(総噴出量:2.19km<sup>3</sup>)
- ・各パラメータ(地形, 噴煙柱, 粒子, 大気):下表のとおり

※2 L.G. Mastin et al. (2009) に示される噴煙柱高度の回帰式  $H(\text{km}) = 25.9 + 6.64 \log_{10}(V(\text{km}^3 \text{DRE}))$

見かけ体積は, 須藤ほか(2007)による。  
計算により算出

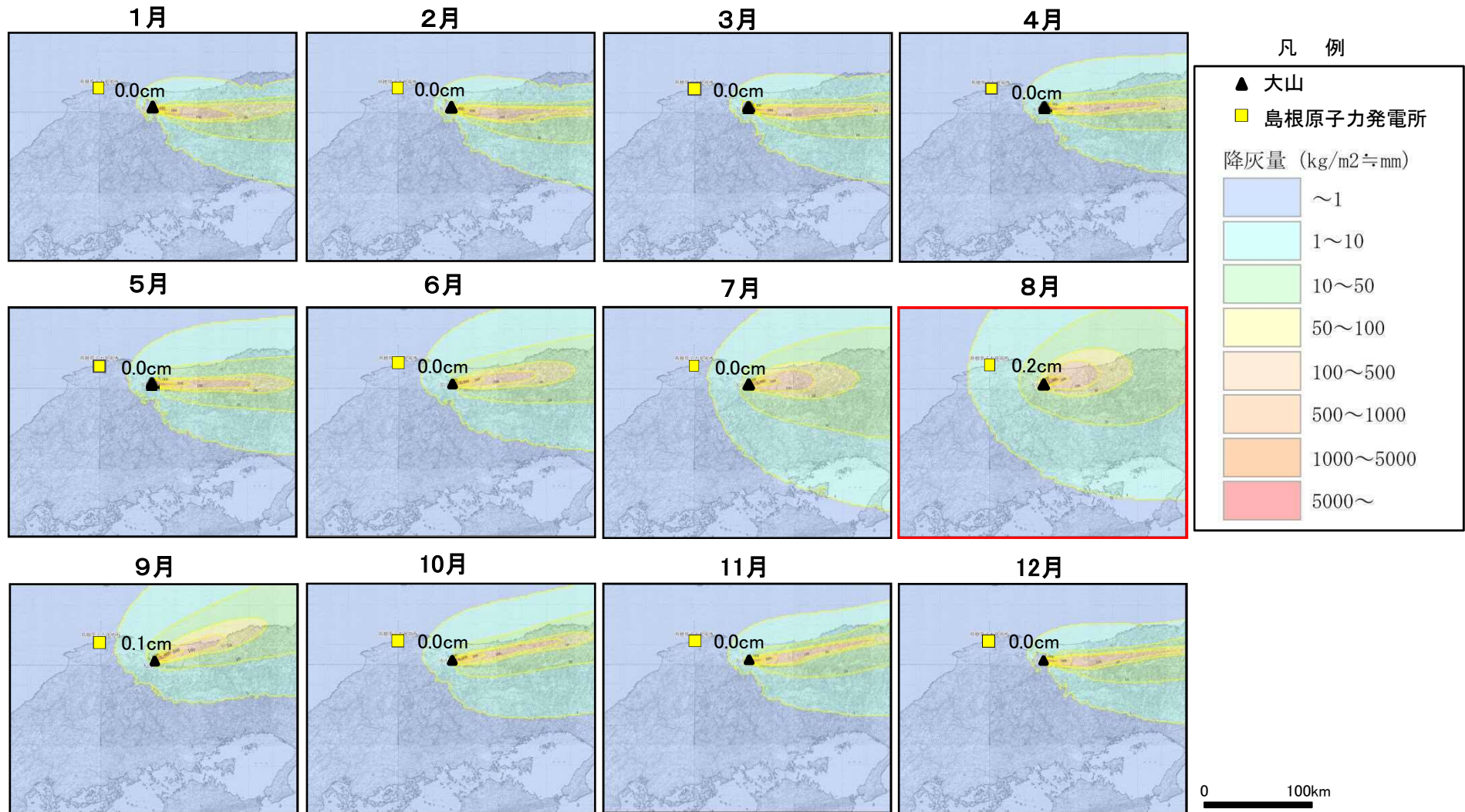
各パラメーター一覧表

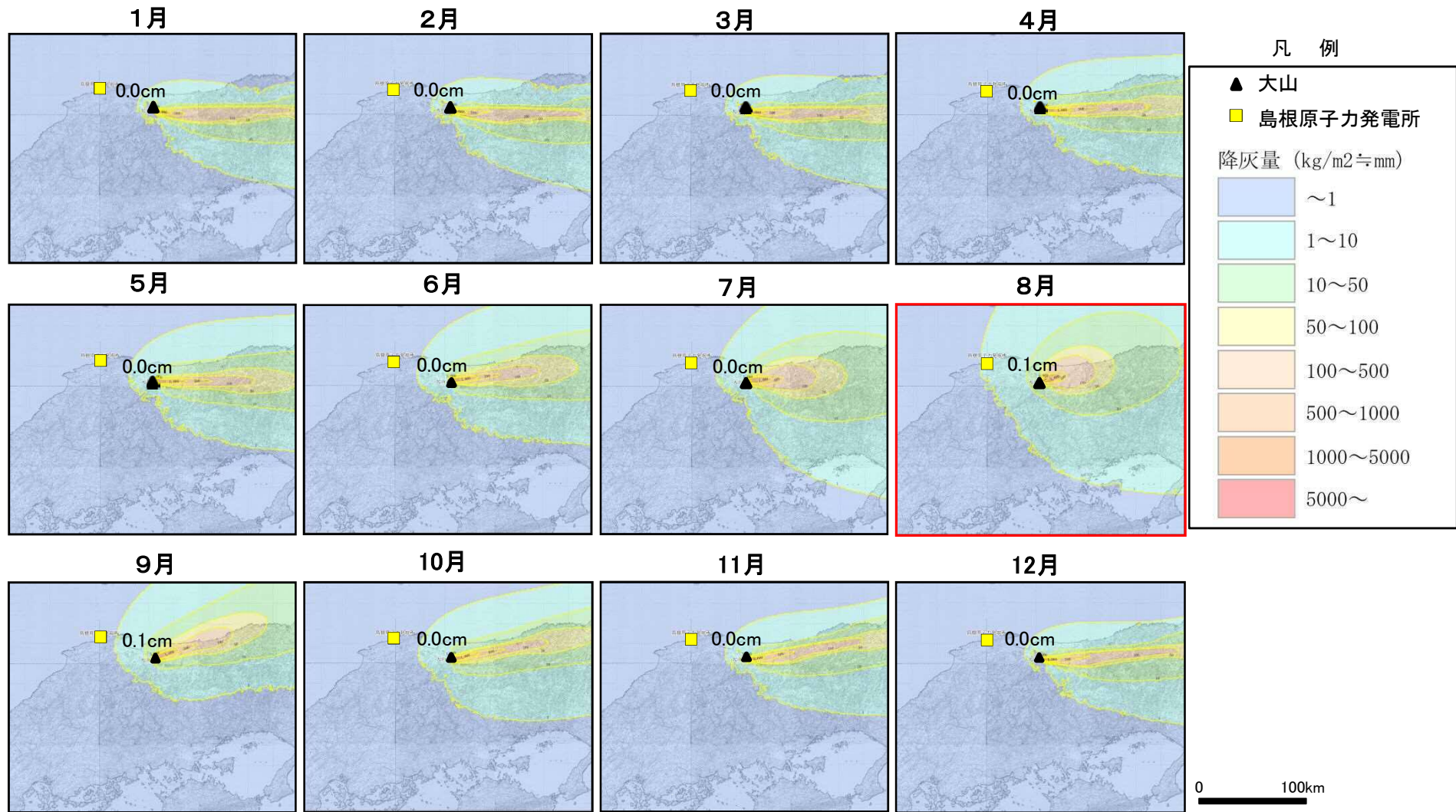
対象とする火山		大山		引用した文献・資料など
想定する噴火規模		DMP		
地形 パラメータ	地形モデル解析	m	1,000	国土地理院基盤地図情報 数値標高モデル(10m) 座標:UTM座標系
	火口位置X	m	367,926	
	火口位置Y	m	3,915,169	
	火口位置Z	m	1,729	
噴煙柱 パラメータ	噴煙柱上端の標高	m	25,000	右表参照
	噴出物の総重量	kg	2.2E+12	右表参照
	最大粒径	phi	-10(2 <sup>10</sup> mm=1024mm)	TEPHRA2による推奨値 <sup>※1</sup>
	最小粒径	phi	10(2 <sup>-10</sup> mm=9.77 × 10 <sup>-4</sup> mm)	
	中央粒径	phi	4.5(2 <sup>-4.5</sup> mm=0.0442mm)	
標準偏差	phi	3(2 <sup>-3</sup> mm=0.125mm)		
粒子 パラメータ	渦拡散係数	m <sup>2</sup> /s	0.04	T.Suzuki(1983) より
	拡散係数	m <sup>2</sup> /s	500	萬年(2013) より
	Fall Time Threshold	s	3,600	C.Bonadonna et al.(2005) より
	岩片の見かけ密度	kg/m <sup>3</sup>	2,600	TEPHRA2による推奨値 <sup>※1</sup>
	軽石の見かけ密度	kg/m <sup>3</sup>	1,000	
大気 パラメータ	風速	m/s	高度ごとに月平均風速(9時, 21時)の平均値	気象庁公開データ(1988.1~2013.6) ・松江(2010.3~)&米子(1988.1~2010.2) ・高度は指定気圧面を計算式により変換した高度
	風向	度	高度ごとに月平均風向(9時, 21時)の最頻値	
	季節条件		1月~12月	

対象とする火山	大山	備考
想定する噴火規模	DMP	
噴煙柱高度 H (km) <sup>※2</sup>	25	
見かけ体積 V1 (km <sup>3</sup> )	2.19	
見かけ体積 V2 (km <sup>3</sup> DRE)	0.84	
噴出物総重量 (kg)	2.2E+12	

換算値		
岩片の見かけ密度	2,600	kg/m <sup>3</sup>
降下火砕物の見かけ密度	1,000	kg/m <sup>3</sup>

※1 Tephra2 Users Manual Spring 2011(University of South Florida)より





・バグ修正前後とも偏西風の弱まる8月の降下量が最大となり、敷地における降灰層厚についてもバグ修正前後で同程度(最大0.1cm差)となった。

余白

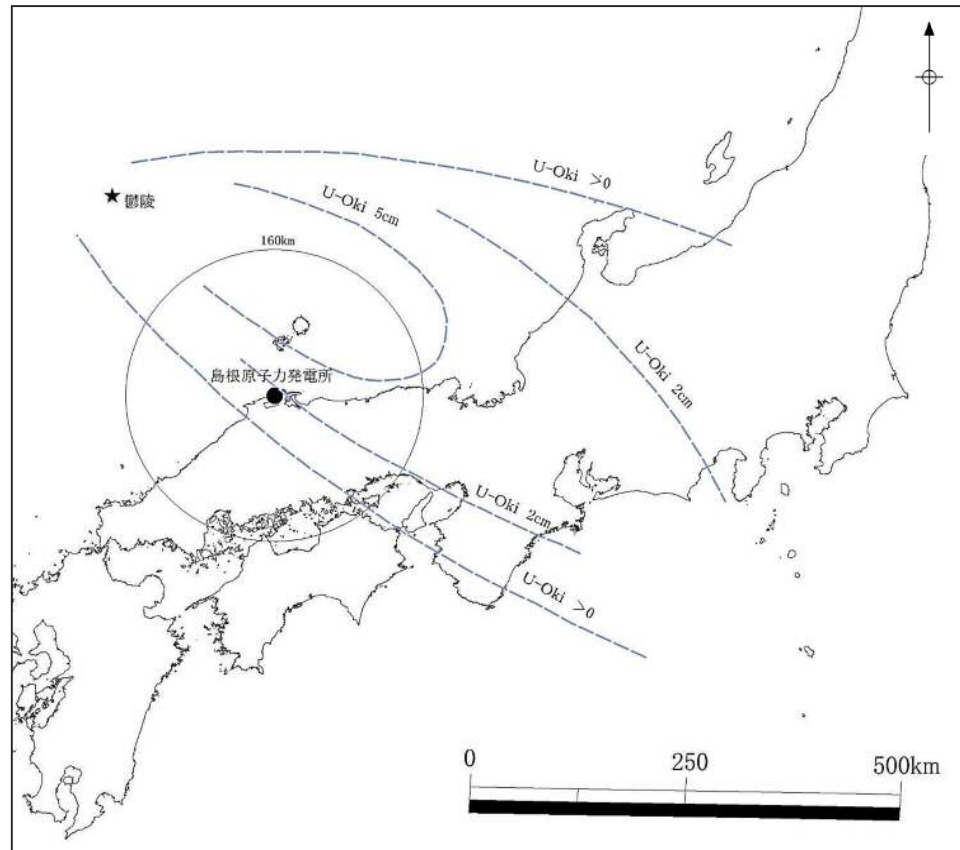


#### 4. 鬱陵島に関するバグ修正に係る影響確認

### 鬱陵島の降下火砕物の影響評価

144

鬱陵島を対象に、バグ修正前後における火山灰シミュレーション結果の比較検討を実施し、バグの影響を確認した。



町田・新井(2011)よりテフラの等層厚線を引用・加筆

- ・鬱陵隠岐(U-Oki)について、敷地では確認されていないが、町田・新井(2011)によると、敷地付近における降下火砕物の層厚が2cm以下とされているため、火山灰シミュレーションを実施した。
- ・完新世において、鬱陵隠岐噴出時の噴火があり、鬱陵隠岐噴出時以降にも少なくとも3回の噴火があったが、それらの噴火規模が不明であることから、運用期間中の噴火規模として、既往最大の鬱陵隠岐の噴火規模(12.22km<sup>3</sup>)を想定する。

## 火山灰シミュレーションの概要

- ・シミュレーションのプログラム:Tephra2
- ・想定する噴火規模:鬱陵隠岐テフラ(総噴出量:12.22km<sup>3</sup>)
- ・各パラメータ(地形, 噴煙柱, 粒子, 大気):下表のとおり

※2 L.G. Mastin et al. (2009) に示される噴煙柱高度の回帰式  $H(\text{km}) = 25.9 + 6.64 \log_{10}(V(\text{km}^3 \text{DRE}))$

:見かけ体積は, 須藤ほか(2007)による。

:計算により算出

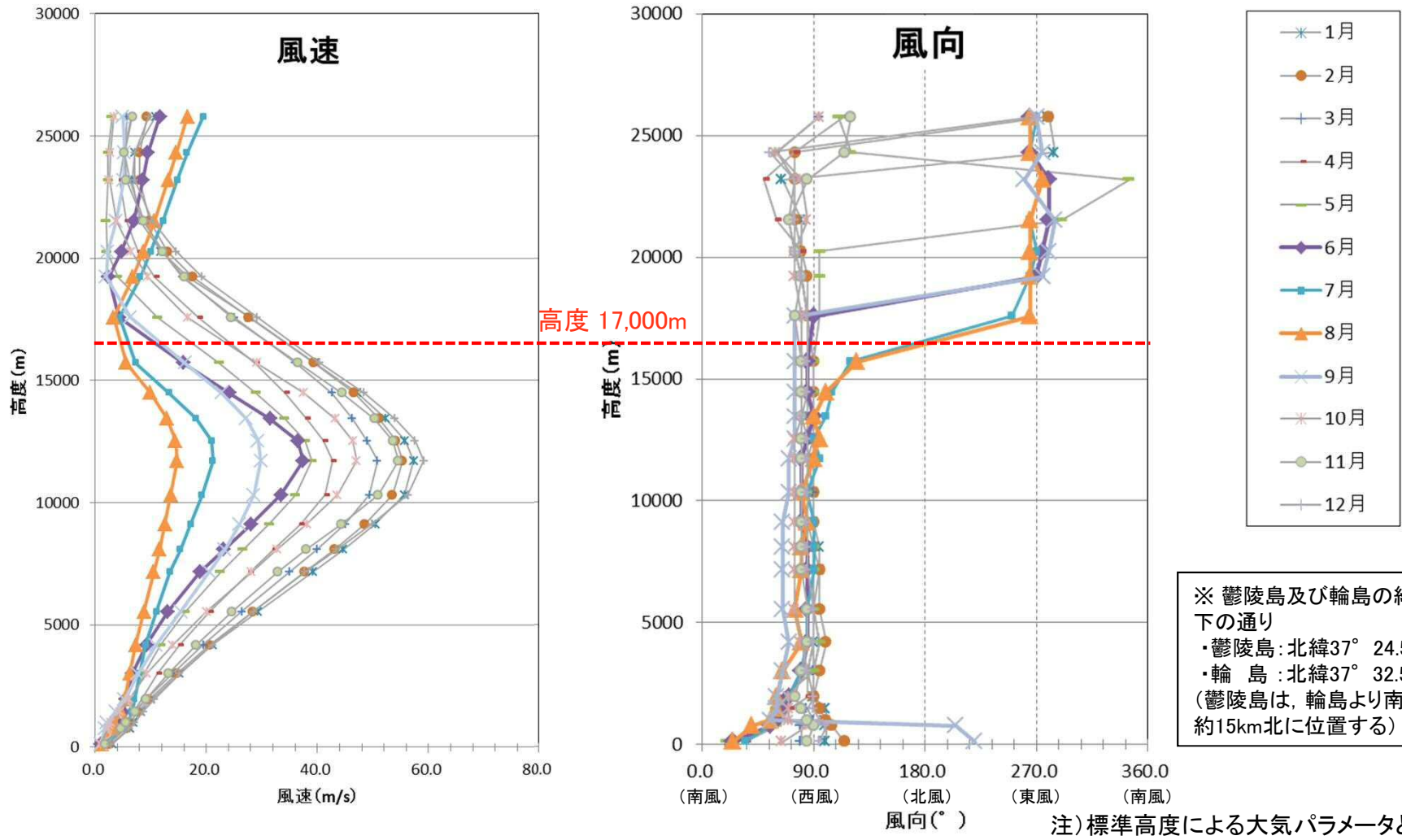
各パラメーター一覧表

対象とする火山			鬱陵島	引用した文献・資料など	対象とする火山	鬱陵島	備考
想定する噴火規模			U-Oki規模		想定する噴火規模	U-Oki	
地形 パラメータ	地形モデル解析	m	1,000	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	噴煙柱高度 H (km) <sup>※2</sup>	30	
	火口位置X	m	134,205		見かけ体積 V1 (km <sup>3</sup> )	12.22	
	火口位置Y	m	4,158,383		見かけ体積 V2 (km <sup>3</sup> DRE)	4.70	
	火口位置Z	m	984		噴出物総重量 (kg)	1.2E+13	
噴煙柱 パラメータ	噴煙柱上端の標高	m	30,000	右表参照	換算値		
	噴出物の総重量	kg	1.2E+13	右表参照	岩片の見かけ密度	2600	kg/m <sup>3</sup>
	最大粒径	phi	-10(2 <sup>10</sup> mm=1024mm)	Tephra2による推奨値 <sup>※1</sup>	降下火砕物の見かけ密度	1000	kg/m <sup>3</sup>
	最小粒径	phi	10(2 <sup>-10</sup> mm=9.77 × 10 <sup>-4</sup> mm)				
	中央粒径	phi	4.5(2 <sup>-4.5</sup> mm=0.0442mm)				
標準偏差	phi	3(2 <sup>-3</sup> mm=0.125mm)					
粒子 パラメータ	渦拡散係数	m <sup>2</sup> /s	0.04	T.Suzuki(1983)より			
	拡散係数	m <sup>2</sup> /s	500	萬年(2013)より			
	Fall Time Threshold	s	3600	C.Bonadonna et al.(2005)より			
	岩片の見かけ密度	kg/m <sup>3</sup>	2600	Tephra2による推奨値 <sup>※1</sup>			
	軽石の見かけ密度	kg/m <sup>3</sup>	1000				
大気 パラメータ	風速	m/s	高度ごとに月平均風速(9時, 21時)の平均値	気象庁公開データ(1988.1~2013.6)			
	風向	度	高度ごとに月平均風向(9時, 21時)の最頻値	・輪島(1988.1~2013.6)			
	季節条件		1月~12月	・高度は指定気圧面を計算式により変換した高度			

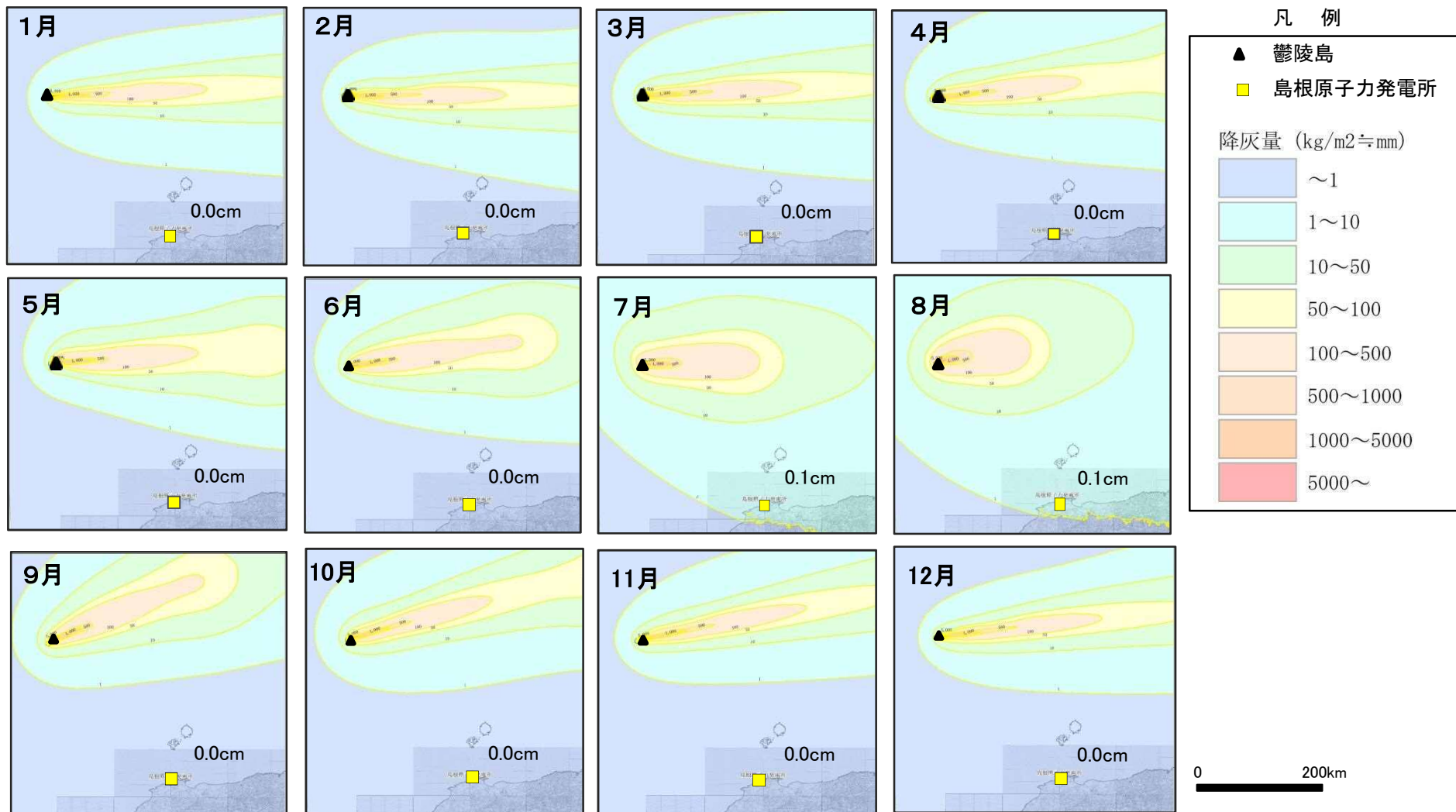
※1 Tephra2 Users Manual Spring 2011(University of South Florida)より

# 鬱陵島に関する火山灰シミュレーション(大気パラメータ)

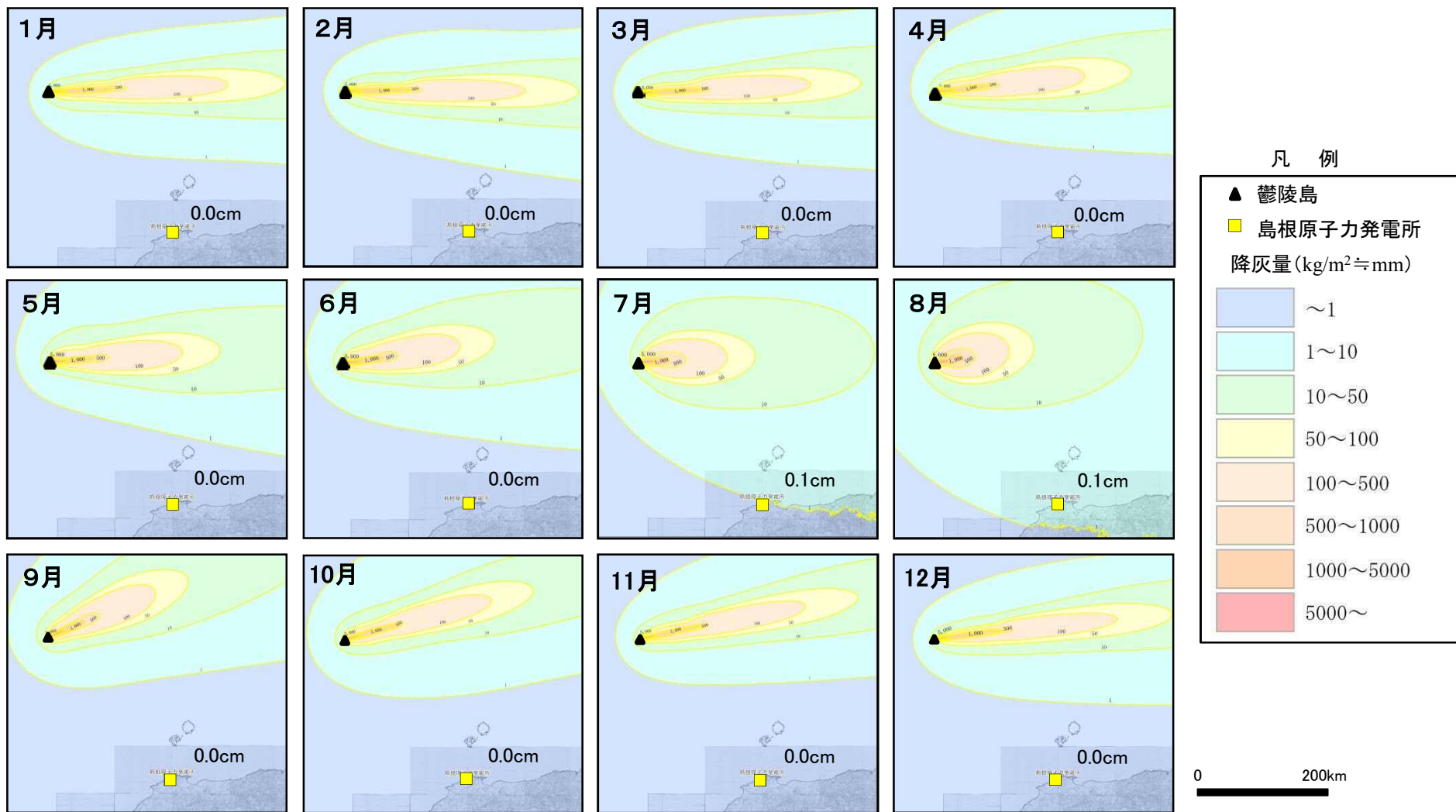
鬱陵島と比較的緯度が近い※, 気象庁の輪島観測所(1988年1月~2013年6月)のデータを用いた。風速は高度毎の9時, 21時の月平均風速の平均値, また風向は高度毎の9時, 21時の月平均風向の最頻値を使用した。なお, 風向・風速データの最高高度(約26,000m)を上回る範囲の風向・風速の設定が敷地における降灰層厚に及ぼす影響はほとんどないと考えられることから, 最高点の風向・風速値が高さ方向に一定である(変化しない)ものとして取り扱った。  
偏西風の風速が大きい約17,000m以下の高度では, 年間を通じて西風が卓越する。



# 鬱陵島に関する火山灰シミュレーション(バグ修正前)



# 鬱陵島に関する火山灰シミュレーション(バグ修正後)



・バグ修正前後とも、敷地における降灰層厚は同値となった。

- ・バグ修正が適切に行われていることを確認する目的で、火山灰シミュレーションを実施した中で敷地における降灰層厚が最大となる、風向の更なる不確かさを考慮した三瓶浮布テフラの噴出規模4.15km<sup>3</sup>を対象に、他機関がバグ修正を行った解析コードとの比較を実施した。
- ・比較には、国立研究開発法人産業技術総合研究所がHPで公開しているG-EVER火山災害予測支援システム内の「Tephra2」(以下、「G-EVER」)を用いる。
- ・当社使用の「Tephra2」バグ修正後の結果とG-EVERによる結果の比較検討を下記条件で実施した。

解析コード			当社使用の「Tephra2」	G-EVER
地形 パラメータ	地形モデル解析	m	1,000	900 <sup>※1</sup>
	火口位置X	m	283,297	283298 <sup>※2</sup>
	火口位置Y	m	3,891,189	3891191 <sup>※2</sup>
	火口位置Z	m	1,126	1114 <sup>※3</sup>
噴煙柱 パラメータ	噴煙柱上端の標高	m	27,000	27,000
	噴出物の総重量	kg	4.2E+12	4.2E+12
	最大粒径	phi	-10(2 <sup>10</sup> mm=1024mm)	-10(2 <sup>10</sup> mm=1024mm)
	最小粒径	phi	10(2 <sup>-10</sup> mm=9.77 × 10 <sup>-4</sup> mm)	10(2 <sup>-10</sup> mm=9.77 × 10 <sup>-4</sup> mm)
	中央粒径	phi	4.5(2 <sup>-4.5</sup> mm=0.0442mm)	4.5(2 <sup>-4.5</sup> mm=0.0442mm)
	標準偏差	phi	3(2 <sup>-3</sup> mm=0.125mm)	3(2 <sup>-3</sup> mm=0.125mm)
粒子 パラメータ	渦拡散係数	m <sup>2</sup> /s	0.04	0.04
	拡散係数	m <sup>2</sup> /s	500	500
	Fall Time Threshold	s	3,600	3,600
	岩片の見かけ密度	kg/m <sup>3</sup>	2,600	2,600
	軽石の見かけ密度	kg/m <sup>3</sup>	1,000	1,000
大気 パラメータ	風速	m/s	敷地方向への仮想風	敷地方向への仮想風
	風向	度	敷地方向への仮想風	敷地方向への仮想風
	季節条件		8月	8月

※1：地形モデルに関して、当社使用と同規模の900mを選択。(100m, 300m及び900mより選択可)

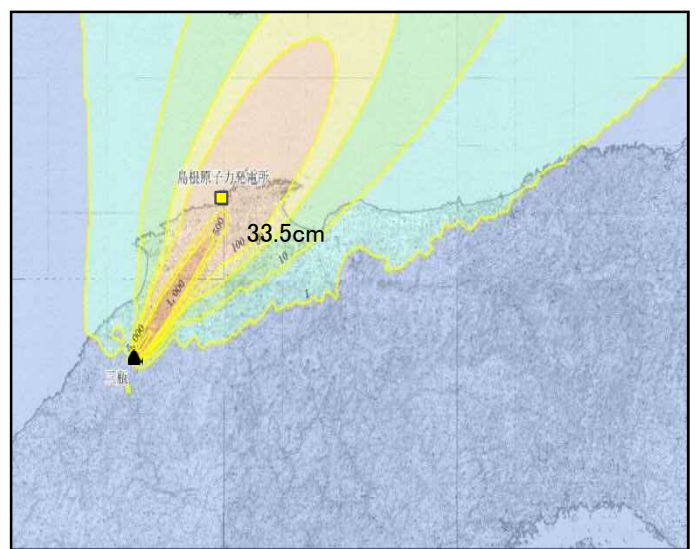
※2：G-EVERのX, Y座標は数値の手入力ができず、地図上でクリックして座標を指定するため、全く同じ座標とならない。

※3：Z座標はG-EVERにより自動で算出される。

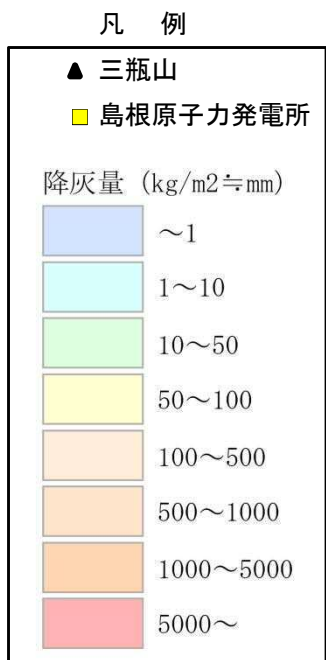
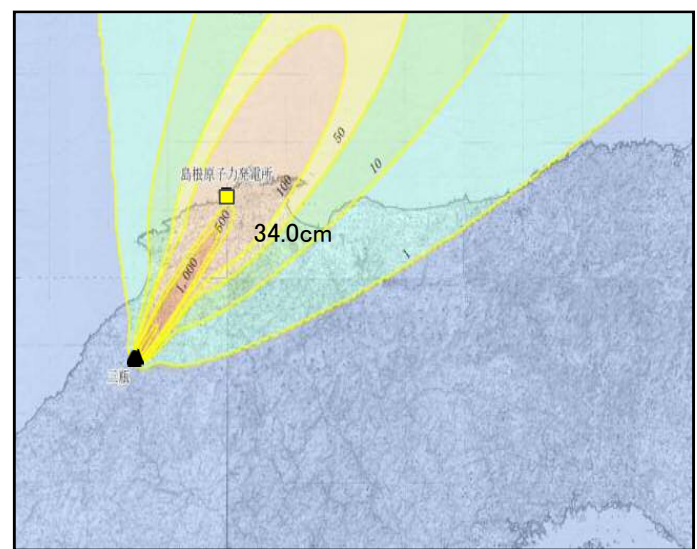
## 風向の更なる不確かさを考慮した検討結果(標準高度による大気パラメータ)

風向の更なる不確かさを考慮した検討として、敷地方向への仮想風を用いた検討を当社使用の「Tephra2」バグ修正後の結果とG-EVERによる結果を比較検討した。

バグ修正後



G-EVERによる



- ・G-EVERにより火山灰シミュレーションを実施した結果、敷地における降灰層厚は34.0cmとなった。
- ・バグ修正後の結果とG-EVERによる結果は、敷地における降灰層厚が同程度(0.5cm差)であることから、当社使用の「Tephra2」の妥当性が確認された。

## 1. バグ修正に伴う影響

- ・バグの影響分析を行うため、これまで火山灰シミュレーションを実施してきた、三瓶山、大山及び鬱陵島の発電所運用期間中に想定される噴出規模を対象に、バグ修正前後の敷地における降灰層厚を比較検討し、バグの影響を確認した。

### 【三瓶山】

- ・基本ケースに関して、バグ修正前後の敷地における降灰層厚は同程度(最大0.1cm差)となった。
- ・風速の不確かさを考慮した検討として、風速を $-1\sigma$ 、 $1\sigma$ 変化させた火山灰シミュレーションを実施した結果、バグ修正前後の敷地における降灰層厚は同程度(最大1.3cm差)となった。
- ・一方、風向の不確かさを考慮した検討として、敷地方向への仮想風を考慮した火山灰シミュレーションを実施した結果、バグ修正後の敷地における降灰層厚はバグ修正前の結果(28.3cm(ジオポテンシャル高度))を上回る33.5cmとなった。

### 【大山】

- ・バグ修正前後の敷地における降灰層厚は同程度(最大0.1cm差)となった。

### 【鬱陵島】

- ・バグ修正前後とも、敷地における降灰層厚は同値となった。

## 2. G-EVERによるバグ修正による結果の妥当性確認

- ・再計算結果の妥当性を確認するため、火山灰シミュレーションを実施した中で敷地における降灰層厚が最大となる、風向の更なる不確かさを考慮した三瓶浮布テフラの噴出規模 $4.15\text{km}^3$ を対象に、バグ修正後の結果とG-EVERによる結果を比較検討した。
- ・その結果、敷地における降灰層厚は同程度(0.5cm差)となり、当社使用の「Tephra2」の妥当性が確認された。



## 「Tephra2」のバグに関するまとめ

### 3. 三瓶山の降下火砕物の影響評価の見直し

- ・バグ修正後の結果を反映する。また、三瓶山の降下火砕物の影響評価を以下のとおり見直す。  
(詳細は、説明事項No.1「原子力発電所の火山影響評価ガイド(一部修正)における「設計対応不可能な火山事象を伴う火山活動の評価」の巨大噴火の考え方に基づく三瓶山の影響評価について」を参照)

#### 【降下火砕物の層厚評価における想定噴火規模】

- ・噴火履歴による検討結果等によると、原子力発電所の運用期間中には、木次降下軽石のような広域火山灰を降下させる規模の噴火を起こす可能性は極めて低いと考えられる。
- ・原子力発電所の運用期間中の規模として、木次降下軽石以外の噴火の中で降下火砕物として最大規模となる浮布降下火山灰(噴出量 $4.15\text{km}^3$ )の噴火の可能性を考慮する。

#### 【文献調査結果・地質調査結果】

- ・地質調査の結果、敷地は三瓶木次テフラ(SK)の等層厚線で10cm程度の範囲に位置している。また、敷地では降下火砕物は確認されていない。
- ・三瓶浮布テフラ(SUk)は、敷地及び敷地近傍では確認されていない。

#### 【火山灰シミュレーション結果】

- ・風向の更なる不確かさを考慮した検討として敷地方向への仮想風を用いた火山灰シミュレーションを実施した結果、敷地における層厚は33.5cmとなった。
- ・火山の活動様式の不確かさとして火砕流堆積物主体の三瓶大田の噴出規模 $6.60\text{km}^3$ を考慮した火山灰シミュレーションを実施した結果、敷地における層厚は7.5cmとなった。
- ・火山灰シミュレーションの結果、敷地における降灰層厚は最大33.5cmとなることから、敷地における層厚は35cmと評価する。

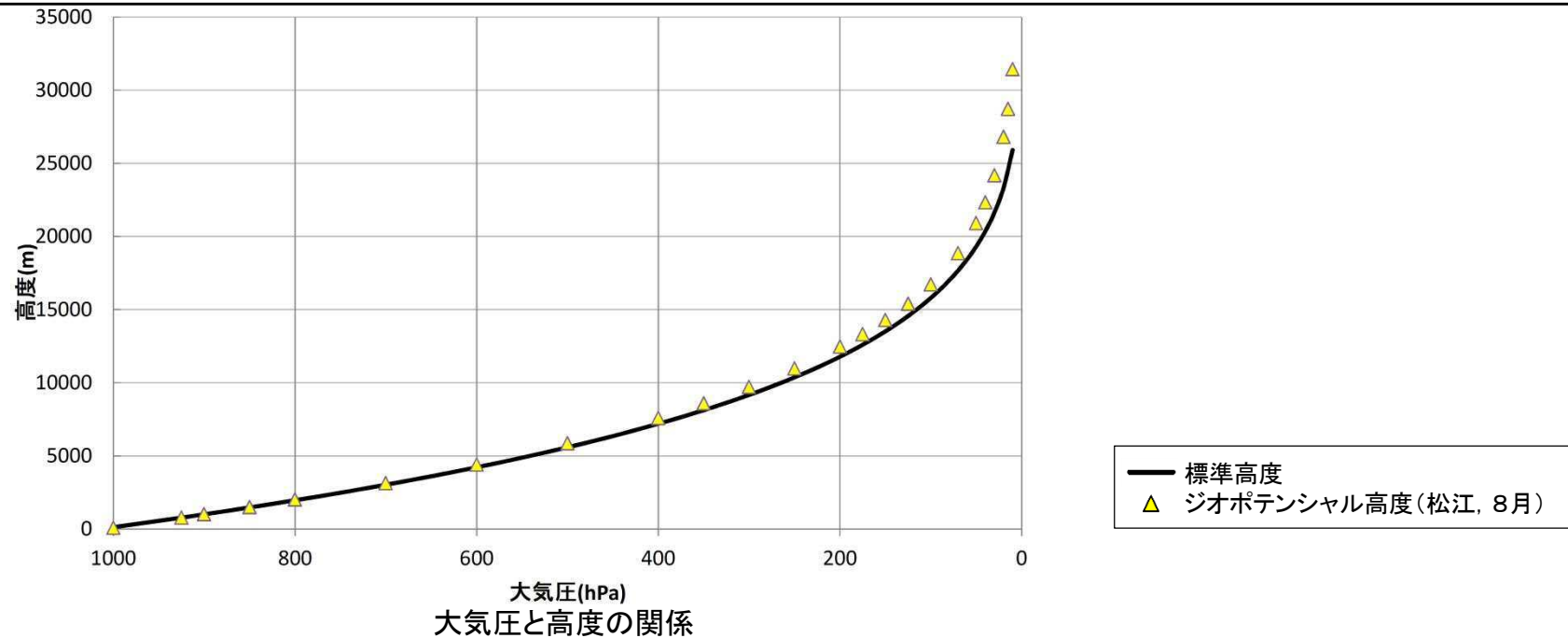
原子力発電所の運用期間中の規模として想定した三瓶浮布テフラ(噴出量 $4.15\text{km}^3$ )について、風向の不確かさ等を十分に考慮した場合のシミュレーション結果33.5cmを踏まえ、三瓶山の敷地における降下火砕物の層厚を30cmから35cmに見直す。

- ・大気パラメータ
- ・噴煙柱高度
- ・敷地方向への仮想風

- ・ 気象庁は、指定気圧面(観測を実施する25の気圧面, 1000hPaから5hPaまで)の風速, 風向等を取得している。
- ・ 指定気圧面の換算高度については、主に以下の2種類がある。
  - 方法① 実際の大気の状態に係わらず、標準的な大気モデルを用いて求めた高度(以下、標準高度)
    - 標準高度は、ICAO(国際民間航空機関)の標準大気(大気圧と高度の関係)を参考に、対象火山周辺の大気条件(観測所における地上の大気圧, 気温)を考慮して作成している。
  - 方法② 指定気圧面ごとの気圧, 気温等を用いて計算で求めた高度(以下、ジオポテンシャル高度)
    - ジオポテンシャル高度は、同一気圧面における高度が大気の状態に応じて変動するため、気象庁よりデータ提供されている対象火山周辺のジオポテンシャル高度に基づき統計処理を行い、データ取得期間の指定気圧面ごとの平均値を作成している。

大気パラメータの考え方:

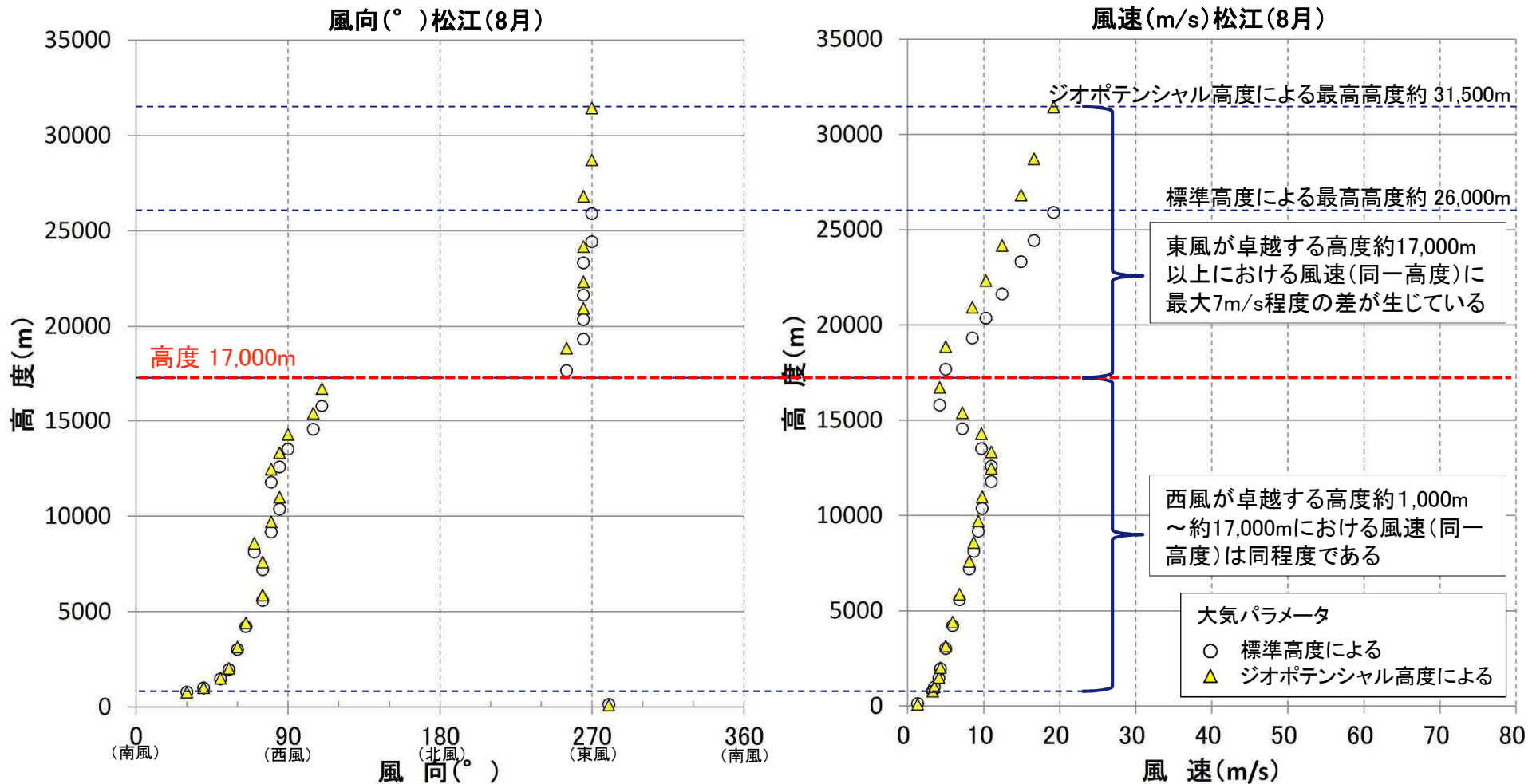
- ① 基本ケースのうち敷地における降灰層厚が最大となる8月の大気パラメータにより、標準高度による場合とジオポテンシャル高度による場合とを比較した結果、敷地における降灰層厚は同程度となることから(次頁以降参照)、標準高度による大気パラメータを用いた火山灰シミュレーションを実施する。
- ② 敷地における降灰層厚が最大となるケースについては、ジオポテンシャル高度による大気パラメータを用いた火山灰シミュレーションも実施し、標準高度による大気パラメータを用いた火山灰シミュレーション結果の妥当性を確認する。



# 大気パラメータの比較

## 大気パラメータの比較(敷地における降灰層厚が最大となる月:8月)

- ・ 高度約1,000m～約17,000mでは西風が卓越し、標準高度による風速とジオポテンシャル高度による風速(同一高度)は同程度である。
- ・ 一方、高度約17,000m以上では東風が卓越し、標準高度による風速とジオポテンシャル高度による風速(同一高度)には、最大7m/s程度の差が生じている。

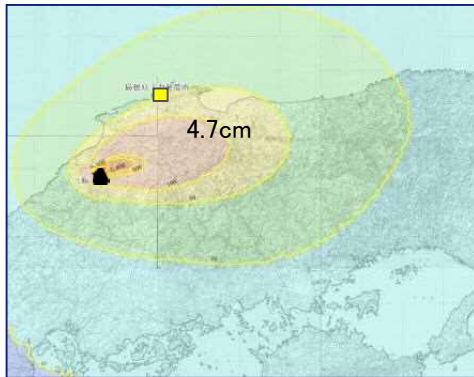


## 大気パラメータの影響検討(敷地における降灰層厚が最大となる月:8月)

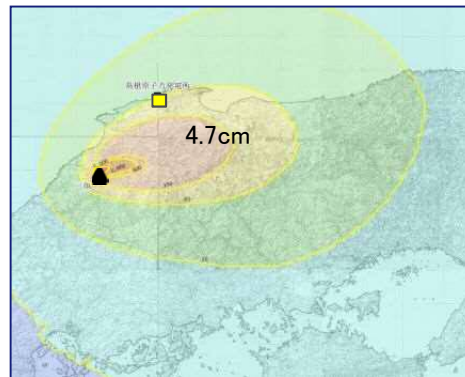
基本ケースのうち敷地における降灰層厚が最大となる8月の大気パラメータを対象に、標準高度による場合とジオポテンシャル高度による場合の比較検討を実施した。

バグ修正前

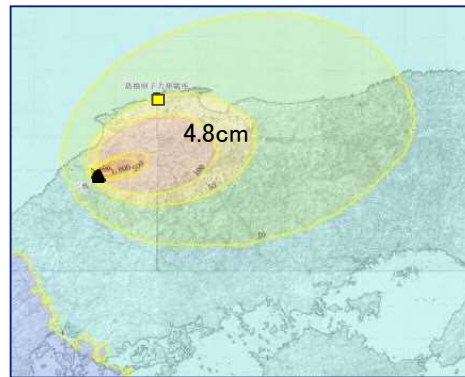
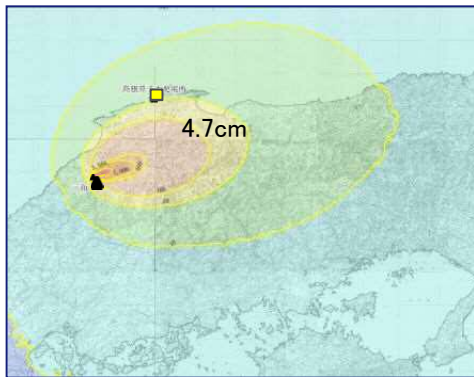
標準高度



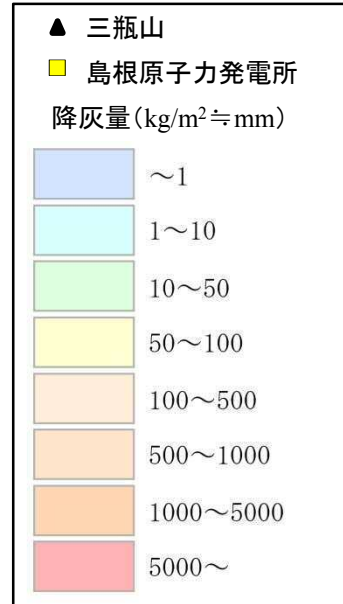
ジオポテンシャル高度



バグ修正後



凡 例



0 50km

- ・基本ケースのうち、敷地における降灰層厚が最大となる8月の大気パラメータにより、標準高度による場合とジオポテンシャルによる場合とを比較した結果、バグ修正前後いずれも敷地における降灰層厚は同程度(0.1cm差)となることが確認された。
- ・高度約17,000m以上の大気パラメータの設定が敷地における降灰層厚に及ぼす影響はほとんどないと考えられる。

# 噴煙柱高度の考え方(L.G. Mastin et al. (2009)による)

・L.G. Mastin et al. (2009)は、西暦1,900年以降の世界の火山の噴火(VEI2~6)について、既存の公開資料に記載されている噴煙柱高度、噴出量、継続時間等を整理し、これらのデータセットを用いて噴煙柱高度と噴出量の回帰式を求めている。

・火山灰シミュレーションの対象火山である三瓶山、大山及び鬱陵島の考慮する噴出量は2.19~12.22km<sup>3</sup>と幅広となることから、この回帰式を用いて噴出規模に応じた噴煙柱高度を設定する。なお、設定された噴煙柱高度は25~30kmであり、町田・新井(2011)に示されるVEI5以上の噴煙柱高度(>25km)と整合する。

・三瓶浮布テフラ(噴出量:4.15km<sup>3</sup>)の場合、回帰式により設定される噴煙柱高度は27kmとなる。この三瓶浮布テフラに関する火山灰シミュレーション(基本ケース)について、回帰式により設定される噴煙柱高度27kmを用いた場合と町田・新井(2011)に示されるVEI5の噴煙柱高度の最小値25kmを用いた場合の敷地における降灰層厚を比較した結果、バグ修正前後のいずれの月も両者は同程度である(次頁以降参照)。

世界の火山の噴火事例(データセット)

**Table 1**  
Eruption source parameters for well-studied eruptions. Variables include plume height  $H$ , erupted volume  $V$ , mass eruption rate  $M$ , and duration  $D$ . The mass eruption rate is calculated by multiplying the erupted volume by density to arrive at an erupted mass, and then dividing the erupted mass by the duration. Plume heights are annotated with a letter, which indicates the method by which plume height was estimated: "v"-visual observation from the ground or an airplane; "r"-radar; "s"-satellite images; "i"- isopleth data. For silicic eruptions, column 3 indicates the magma type; rhyolite, d-dacite, a-andesite. Letters in parentheses indicate subordinate magma types. Observations that form the basis for these values are described in Mastin et al. (in preparation)

Volcano	Date of onset	Magma type	VEI	$H$ , (km)	$V$ , (km <sup>3</sup> ) DRE	$M$ , (kg/s)	$D$ , (h)	Reference
<i>Silicic and andesitic eruptions</i>								
St. Helens	3/8/2005	d	2	9v	1e-04	4e05	0.5	1.2
St. Helens	7/22/1980	d	2	10.3r	0.001	1.4e06	0.45	3
St. Helens	5/25/1980	d	3	10.2r	0.016	2e07	<0.5	3
St. Helens	6/12/1980	d	3	9.6r	0.017	2e07	0.5	3
Pinatubo, Philippines	6/12/1991	d	3	17.5r	0.0056	6e06	0.63	4.5,40
Ruapehu, NZ	6/17/1996	a	3	5.7s	0.002	2e05	6.5	12.13
Redoubt, USA	12/15/1989	a	3	9v	0.008	4-7e06	1.03	14, 15
Nevado del Ruiz, Colombia	11/13/1985	a,d	3	26i	0.014	3e07	0.3	16
Spurr, USA	6/27/1992	a	3	11.3r	0.012	2e06	4.4	17,18,19
Spurr, USA	8/18/1992	a	3	10.5r	0.014	3e06	3.5	17,18,19
Spurr, USA	9/17/1992	a	3	10.7r	0.015	3e06	3.6	17,18,19
Hekla, 1970	5/5/1970	a	3	12-16v	0.017	6e06	2	20
Hekla, 1980	8/17/1980	a	3	15v	0.019	2e06	5	21
Reventador, Ecuador	11/3/2002	a	4	17v	0.12	1e07	22	22
Hekla, 1947	3/29/1947	a	4	28v	0.034	4.6e07	0.5	23
brownish-gray ash				8-25v	0.013	1.6e07	0.5	23
brownish-black ash				14v	0.14	3-4e07	2.5-3.5	24,25
Soufriere, St. Vincent	5/7/1902	a,d	4	20i	0.30	3.5e07	5	26
El Chichón A, Mexico	3/29/1982	a	5	24i	0.39	6.0e07	4	26
H Chichón B, Mexico	4/4/1982 0135 GMT	a	5	22i	0.40	4.0e07	7	26
H Chichón C, Mexico	4/4/1982 1122 GMT	a	5	12-18v	3.0	7e07	31	27,28
Hudson, Chile	8/12/1991	a	5	13.5r	0.2	2e07	9	3,6
St. Helens	5/18/1980	d	6	27-30i	4.0	1.5e08	18	7
Quizapu, Chile	4/10/1932	d	6	34i	3.3	5-7e07	24-36	29,30,31
Novarupta	6/6/1912	d	6	23.5i	2.94	1.2e08	16	26
Episode I		r,d,(a)		22.5i	1.96	5.2e07	26	8
Episode II		d		19i	1.63	1.1e08	10	8
Episode III		d,(a)		35-40s	0.8-1.6	2-4e08	3	9,10,11,40
Pinatubo, Philippines	6/15/1991	d	6	34i	3.3	5-7e07	24-36	29,30,31
Santa Maria, Guatemala	10/24/1902	a,(d)	6	34i	3.3	5-7e07	24-36	29,30,31
<i>Basaltic eruptions</i>								
Etna, 2001	7/19/2001	d	2	0.5-2.5v	9e-04	6e03	115	32
Cerro Negro, 1995	11/19/1995	d	2	2-2.5v	1.3e-03	9.4e03	~100	33
Cerro Negro, 1992	4/9/1992	d	3	2.8-6.8v	0.0094	3e05	~21	33
Izu-Oshima	11/21/1986	a,(a)	3	10s,r,v	0.0045	8e05	3	41
Fuego, 1971	9/14/1971	d	3	10v	0.03	1.7e06	12	34,35
Miyakejima, Japan	8/18/2000	d	3	15.5r	0.0042	1.2e06	3.4	36,37,38
Fuego, 1974	10/14/1974	d	4	10v	0.02	3e06	5	39

Information sources:  
<sup>1</sup>Mastin (2007); <sup>2</sup>Scott et al. (in press); <sup>3</sup>Sarna-Wejicki et al. (1981); <sup>4</sup>Paladio-Melozantos et al. (1996); <sup>5</sup>Heblitt et al. (1996); <sup>6</sup>Durant et al. (this volume); <sup>7</sup>Hildreth and Drake (1992); <sup>8</sup>Frerstein and Hildreth (1992); <sup>9</sup>Koyaguchi (1996); <sup>10</sup>Koyaguchi and Ohno (2001a); <sup>11</sup>Holasek et al. (1996); <sup>12</sup>Prata and Grant (2001); <sup>13</sup>Bonadonna and Houghton (2005); <sup>14</sup>Miller and Chouet (1994); <sup>15</sup>Scott and McGimsey (1994); <sup>16</sup>Naranjo et al. (1986); <sup>17</sup>Neal et al. (1995); <sup>18</sup>Eichelberger et al. (1995); <sup>19</sup>McGimsey et al. (2001); <sup>20</sup>Thorarinnsson and Sigvaldason (1971); <sup>21</sup>Gronvold et al. (1983); <sup>22</sup>Smithsonian Institution (2002); <sup>23</sup>Thorarinnsson (1949); <sup>24</sup>Anderson and Flett (1903); <sup>25</sup>Carey and Sigurdsson (1978); <sup>26</sup>Carey and Sigurdsson (1986); <sup>27</sup>Scasso et al. (1994); <sup>28</sup>Scasso et al. (1993); <sup>29</sup>Rose (1972); <sup>30</sup>Rose and Sparks (1986); <sup>31</sup>Anderson (1908); <sup>32</sup>Scollo et al. (2007); <sup>33</sup>Hill et al. (1998); <sup>34</sup>Bonadonna and Salazar (1973); <sup>35</sup>Rose et al. (1973); <sup>36</sup>Tupper et al. (2004); <sup>37</sup>Nakada et al. (2005); <sup>38</sup>Geshi et al. (2002); <sup>39</sup>Rose et al. (2008); <sup>40</sup>Pallister et al. (1992); <sup>41</sup>Mannen (2006).

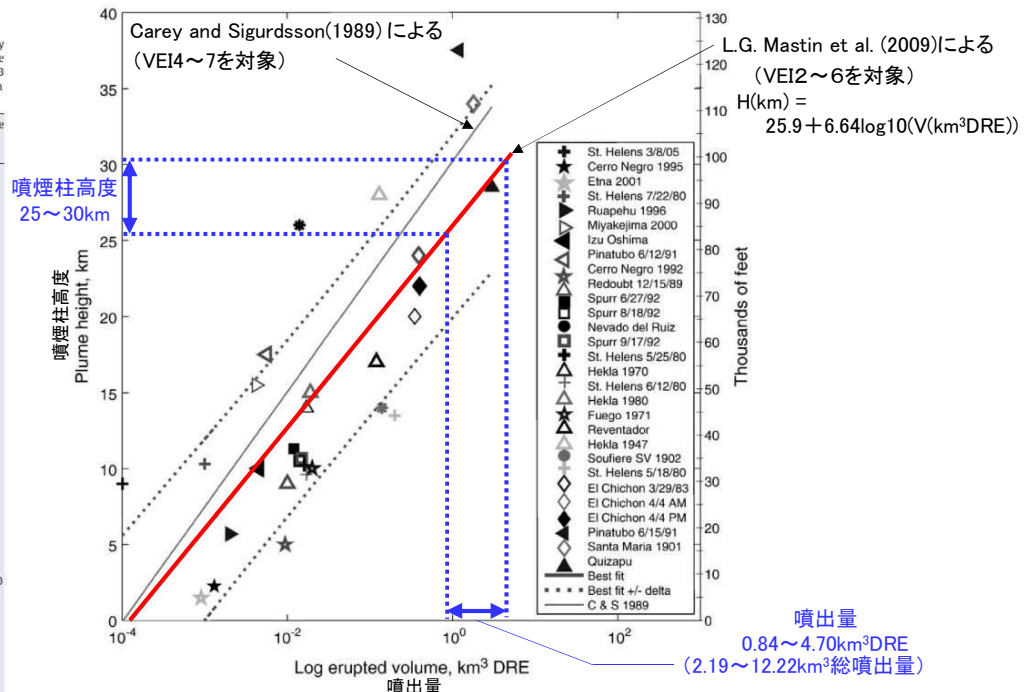


Fig. 2. Plume height versus log erupted volume (DRE) for the eruptions listed in Table 1. The bold solid line is the best-fit curve through the data, and the bold dotted lines are envelope curves that enclose 50% of the predictions as calculated by the routine polyval in Matlab®. The light solid line is the best-fit curve obtained by Carey and Sigurdsson (1989). Symbols in the legend are arranged from smallest to largest erupted volume.

## 噴煙柱高度と噴出量の関係

L.G. Mastin et al. (2009)より引用・加筆

# 噴煙柱高度の考え方(町田・新井(2011)による)

- ・火山灰シミュレーションの対象火山である三瓶山, 大山及び鬱陵島の考慮する噴出規模は2.19~12.22km<sup>3</sup>であり, VEI5以上に相当する。
- ・町田・新井(2011)によると, L.G. Mastin et al. (2009)に示される噴煙柱高度の回帰式と同様に, 噴出物総体積が大きくなるほど噴煙柱高度が大きくなるとされており, また, VEI5以上の噴煙柱高度は25km以上になるとされている。

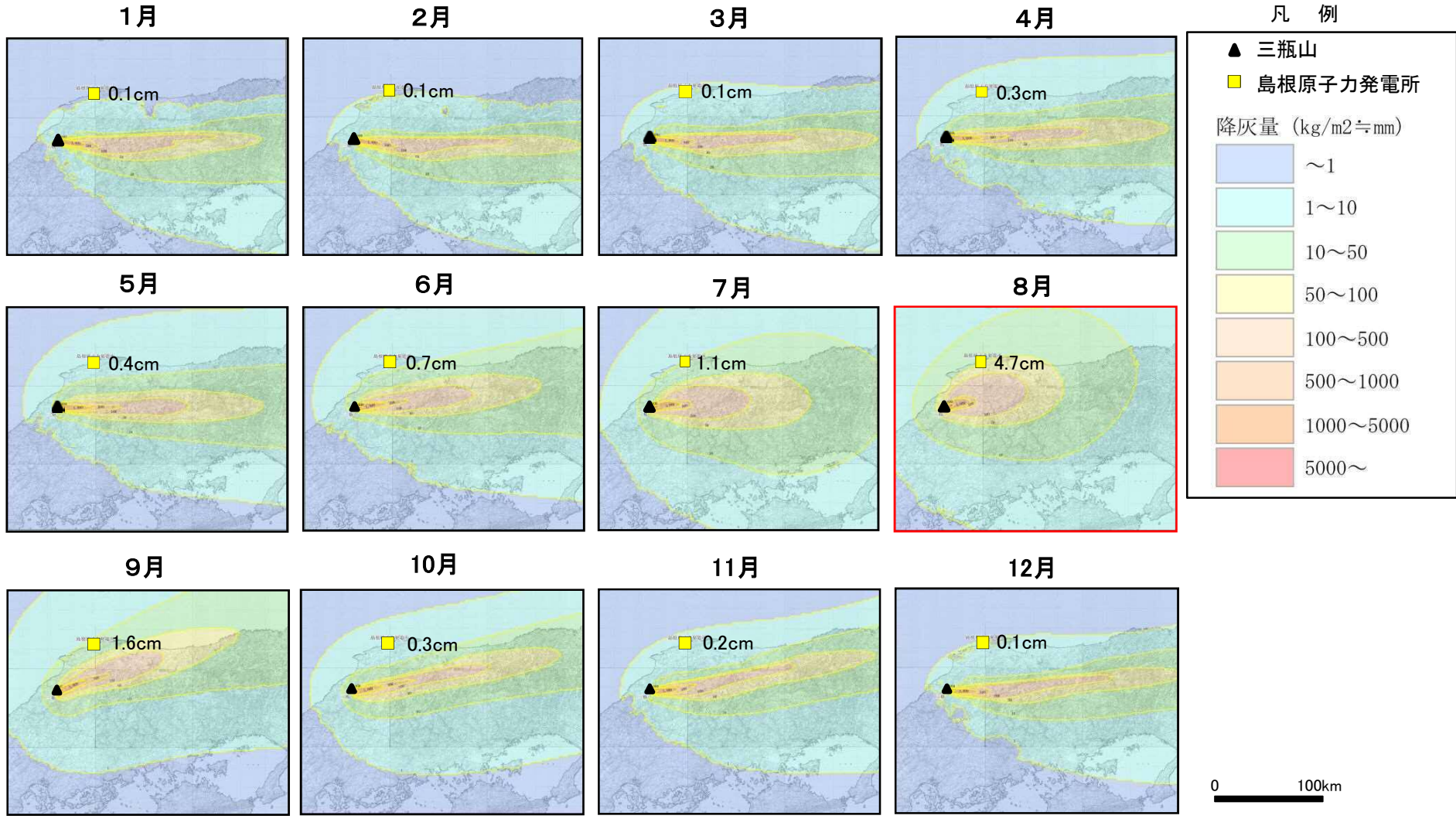
## 火山爆発度指数 VEI (Volcanic Explosivity Index)

[Newhall and Self (1982) に加筆]

VEI	1	2	3	4	5	6	7	8
噴出物総体積 (km <sup>3</sup> )	0.0001 ~	0.001 ~	0.01 ~	0.1 ~	1 ~	10 ~	100 ~	1000~
噴煙柱高度 (km)	0.001 0.1~1	0.01 1~5	0.1 3~15	1 10~25	10 >25	100	1000	
	小噴火	中噴火		大噴火	——巨大噴火——	破局的噴火		
		爆発的噴火			→			
		←				テフクロノロジーに利用		
	← 高頻度					→ 低頻度		

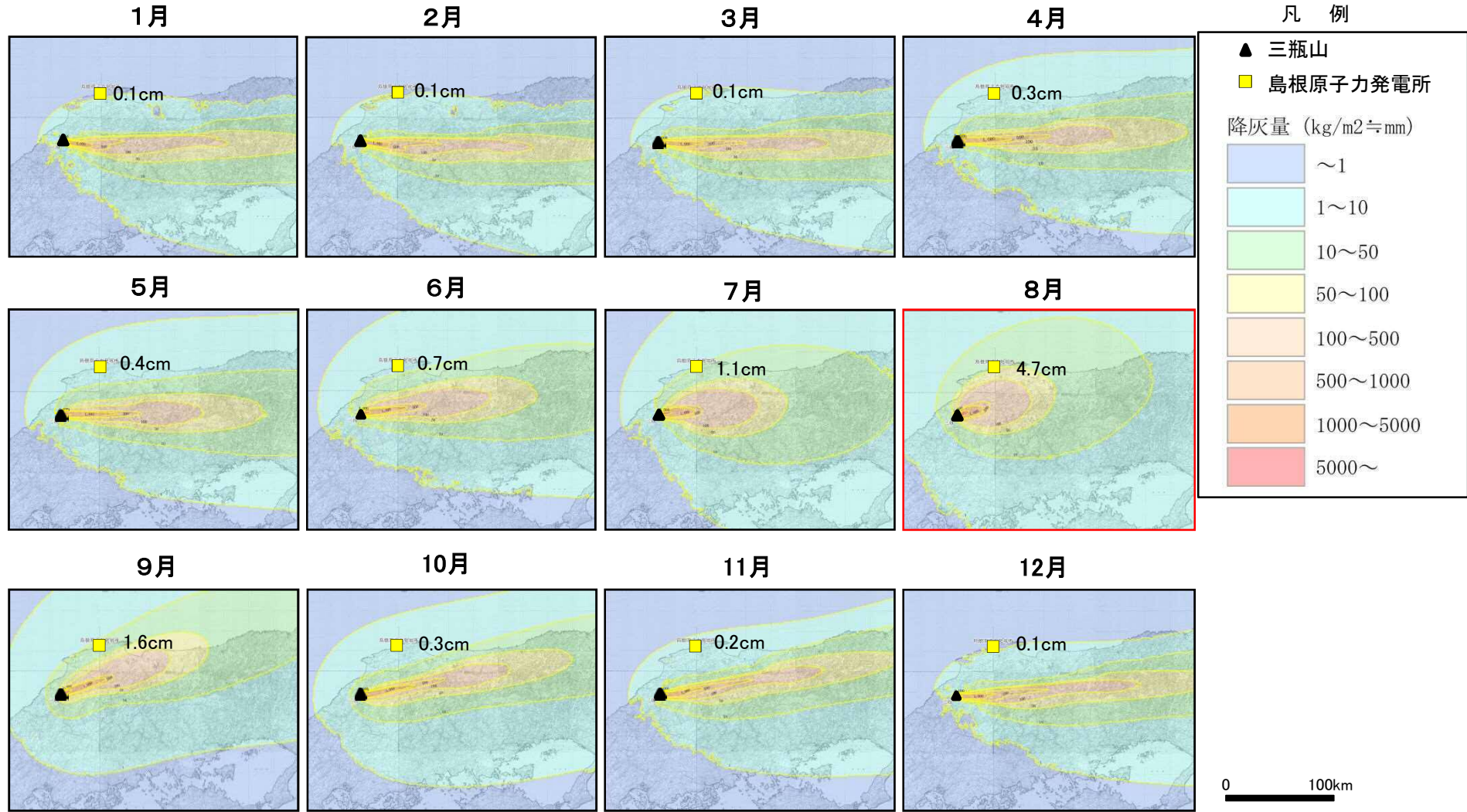
# 三瓶山に関する火山灰シミュレーション(基本ケース:バグ修正前)

基本ケース(噴煙柱高度:25km(町田・新井(2011))に示されるVEI5の噴煙柱高度の最小値))





基本ケース(噴煙柱高度:25km(町田・新井(2011))に示されるVEI5の噴煙柱高度の最小値))



・噴煙柱高度を25kmとした火山灰シミュレーションを実施した結果, 敷地における降灰層厚は, 噴煙柱高度27kmの場合と同程度(最大0.2cm差)となることを確認した。

## 敷地方向の仮想風(三瓶山に関する火山灰シミュレーション)の作成方法

### 敷地方向への仮想風を用いた検討

風向のバラつきによる影響が最も大きい8月を対象に、より厳しい条件を考慮した検討として、敷地方向への仮想風を用いたシミュレーションを実施した。なお、風向・風速は、毎日9時、21時の観測データを用いた。

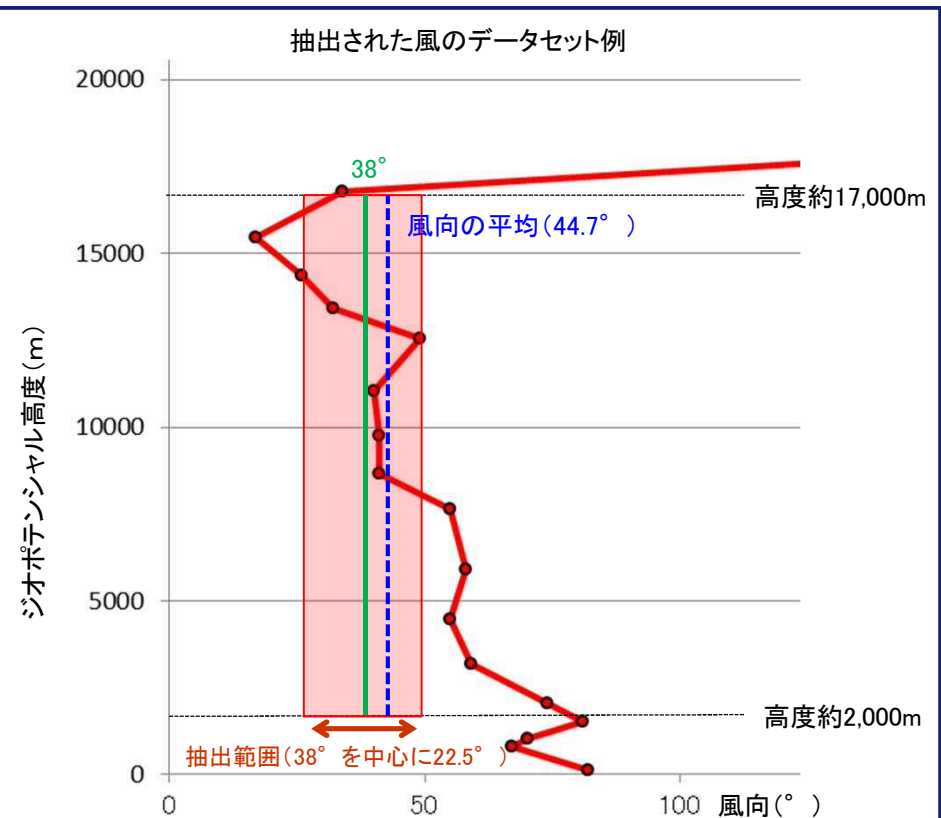
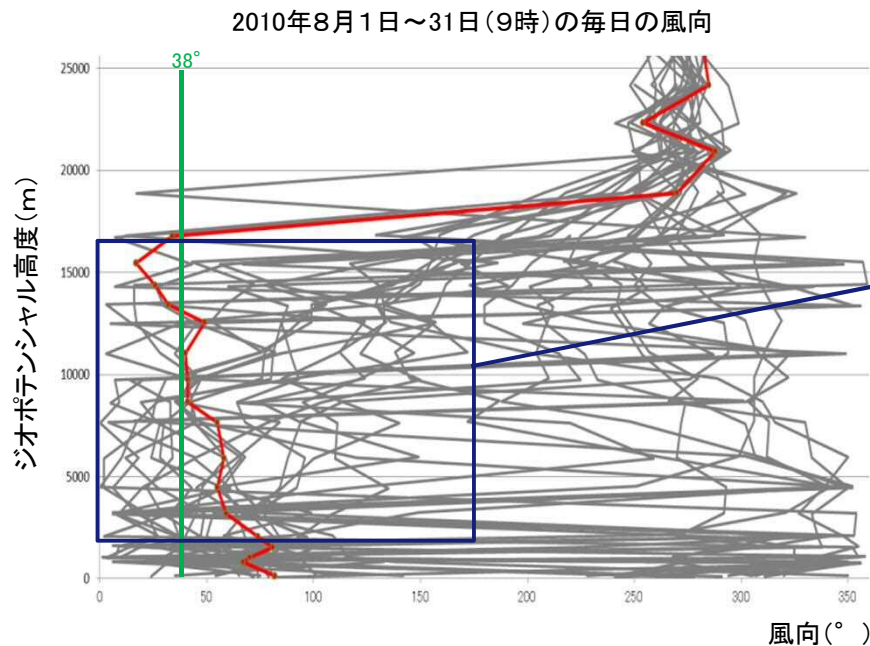
### 【敷地方向の風の抽出条件】

高度約2,000m～約17,000mにおける風向の平均値が抽出範囲内(38° ※<sup>1</sup>を中心に22.5° ※<sup>2</sup>の範囲)に入る風。

※<sup>1</sup> 三瓶山から敷地へ向かう方向

※<sup>2</sup> 風向を16方位に区分した際の1方位の角度

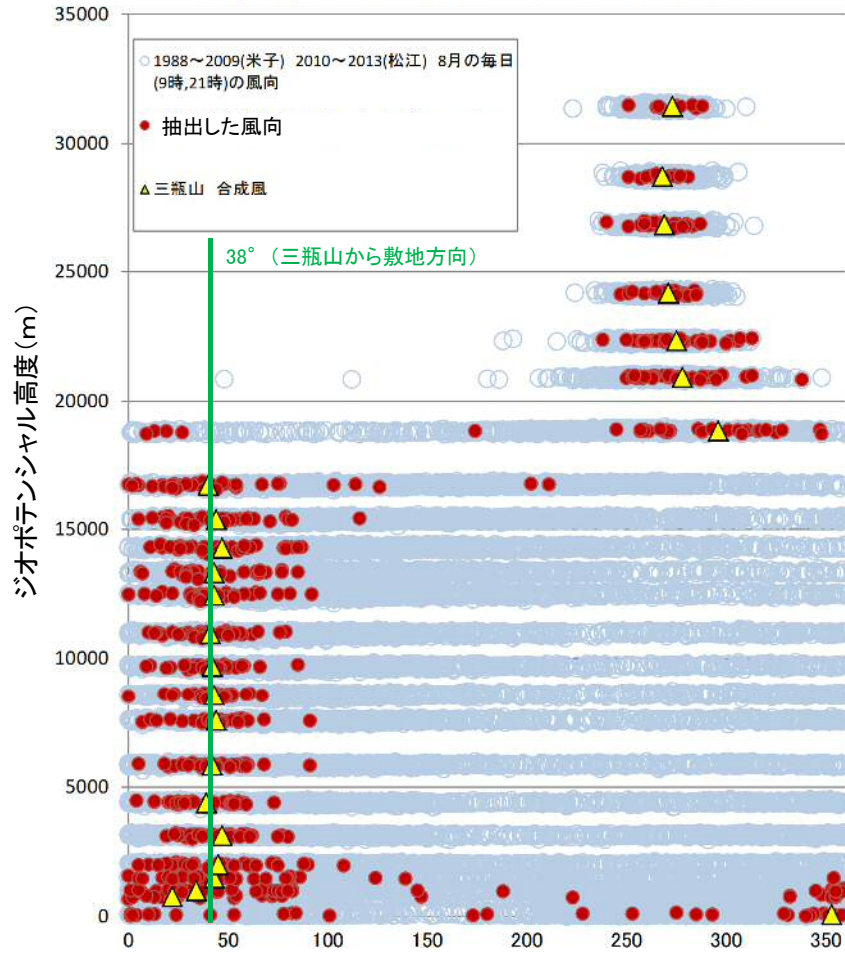
### 敷地方向の風の抽出方法



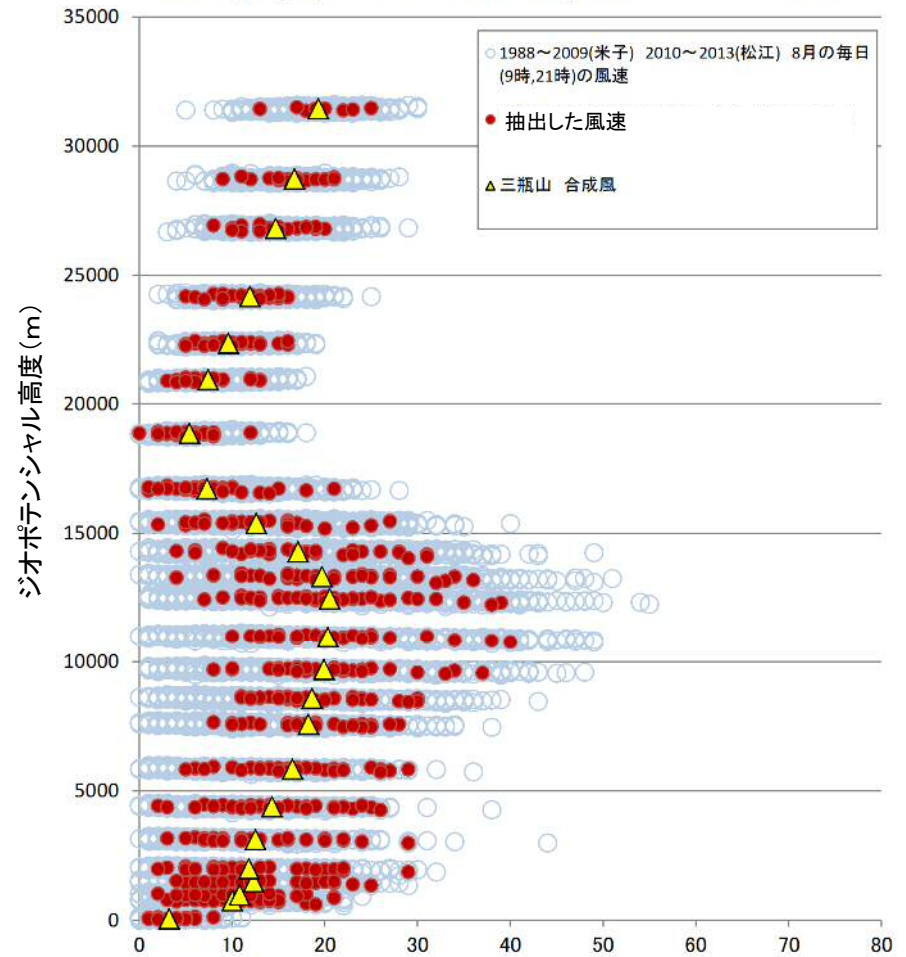
上記例の場合、高度2km～17kmにおける各高度の風向の平均が38° を中心に22.5° の範囲内であるため、敷地方向の風のデータセットとして抽出する。

敷地方向への仮想風の作成結果(三瓶山)

風向(°)松江(三瓶山)(8月(9時・21時))



風速(m/s)松江(三瓶山)(8月(9時・21時))



余白

## 参考文献

- (1) 町田洋・新井房夫(2011):新編日本の火山灰アトラス(第2刷), 東京大学出版会
- (2) 日本第四紀学会編(1996):第四紀露頭集, 日本第四紀学会
- (3) 林正久・三浦清(1987):三瓶火山のテフラの層序とその分布, 山陰地域研究(自然環境) 第3号
- (4) 服部仁・鹿野和彦・鈴木隆介・横山勝三・松浦浩久・佐藤博之(1983):三瓶山地域の地質, 地域地質研究報告(5万分の1図幅), 地質調査所
- (5) 松井整司・井上多津男(1971):三瓶火山の噴出物と層序, 地球科学 25巻 4号
- (6) 草野高志・中山勝博(1999):ブロックアンドアッシュフローの堆積過程(予察):島根県三瓶火山の太平山火砕流堆積物の例, 火山第44巻 第3号
- (7) 日本地質学会編(2009):日本地方地質誌6中国地方, 朝倉書店
- (8) 地質調査総合センター(2013):日本の火山, ver. 0.90, 2013.04.01更新, 地質調査総合センター
- (9) 松浦浩久・土谷信之(2003):前期更新世森田山溶岩—古三瓶期火山—, 火山 第48巻 第1号
- (10) 縫部保徳・藤巻宏和(1996):三瓶火山の珪長質マグマについて(演旨), 日本地質学会第103年学術大会講演要旨
- (11) 松元拓朗(1994):三瓶火山円頂丘溶岩の科学組成, 地質学雑誌
- (12) 福岡孝・松井整司(2002):AT降灰以降の三瓶火山噴出物の層序, 地球科学 56巻
- (13) 福岡孝・松井整司(2000):三瓶火山の山頂火山灰について, 島根大学地球資源環境学研究報告 19
- (14) 福岡孝・松井整司(2004):三瓶火山の噴火様式の変遷, 島根県立三瓶自然館研究報告, No.2
- (15) 気象庁(2013):日本活火山総覧(第4版), (財)気象業務支援センター
- (16) 第四紀火山カタログ編集委員会編(1999):日本の第四紀火山カタログ, 日本火山学会
- (17) 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, 第58巻, 第9/10号
- (18) 鹿野和彦・松浦浩久・服部仁・山田直利・東元定雄(1988):20万分の1地質図「浜田」, 地質調査所
- (19) 小室裕明・志知龍一・和田浩之・糸井理樹(1996):重力異常からみた三瓶カルデラの基盤形態, 火山 第41巻 第1号
- (20) 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, Vol.19 No11

- (21) 下鶴大輔・荒牧重雄・井田善明・中田節也編(2011):火山の事典[第2版], 朝倉書店山起源テフラのフィッシュトラック年代とその火山活動史における意義, 第四紀研究, 38
- (22) 森田裕一・大湊隆雄(2005):火山における地震観測の発展と成果, 火山 第50巻
- (23) 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 Vol.11 No.2
- (24) Zhao.D・Wei.W・Nishizono.Y・Inakura.H(2011):Low-frequency earthquakes and tomography in western Japan: Insight into fluid and magmatic activity, Journal of Asian Earth Sciences 42
- (25) 火山噴火予知連絡会(2009):中長期的な噴火の可能性の評価について—監視・観測体制の充実等の必要な火山の選定—, 火山活動評価検討会
- (26) 火山噴火予知連絡会(2014):御嶽山の噴火災害を踏まえた活火山の観測体制の強化に関する緊急提言, 火山観測体制等に関する検討会
- (27) 火山噴火予知連絡会(2019):第145回火山噴火予知連絡会資料
- (28) 気象庁(2012):三瓶山の火山活動解説資料(平成24年12月)
- (29) Mastin.L.G・Guffanti.M・Servranckx.R・Webley.P・Barsotti.S・Dean.K・Durant.A・Ewert.J.W・Neri.A・Rose.W.I・Schneider.D・Siebert.L・Stunder.B・Swanson.G・Tupper.A・Vollentik.A・Waythomas.C.F(2009):A multidisciplinary effort to assign realistic source parameters to models of volcanic ash-cloud transport and dispersion during eruptions, Journal of Volcanology and Geothermal Research 186
- (30) Suzuki.T(1983):A theoretical model for dispersion of tephra Arc Volcanism:Physics and Tectonics, Terra Scientific Publishing
- (31) 萬年一剛(2013):降下火山灰の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
- (32) Bonadonna.C・Connor.C.B・Houghton.B.F・Connor.L・Byrne.M・Laing.A・Hincks.T.K(2005):Probabilistic modeling of tephra dispersal:Hazard assessment of a multiphase rhyolitic eruption at Tarawera, New Zealand, Journal of Geophysical Research Vol.110 B03203
- (33) Carey S・Sigurdsson H(1989):The intensity of plinian eruptions, Bulletin of Volcanology 51(1)
- (34) 木村純一・岡田昭明・中山勝博・梅田浩司・草野高志・麻原慶憲・館野満美子・檀原徹(1999):大山および三瓶火山起源テフラのフィッシュトラック年代とその火山活動史における意義, 第四紀研究, 38

- (35) 津久井雅志(1984): 大山火山の地質, 地質学雑誌 第90巻 第9号
- (36) 岡田昭明・石賀敏(2000): 大山テフラ, 日本地質学会第107年学術大会 見学旅行案内書
- (37) 加藤茂弘・山下透・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
- (38) 町田洋・新井房夫(2003): 新編日本の火山灰アトラス, 東京大学出版会
- (39) 守屋以智雄(1983): 日本の火山地形, 東京大学出版会
- (40) 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 第91巻 第4号
- (41) 原子力規制委員会(2019): 大山火山の大山生竹テフラの噴出規模の見直しに係る今後の規制上のアプローチについて, 第10回原子力規制委員会, 資料2
- (42) 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
- (43) 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
- (44) Legros.F(2000): Minimum volume of a tephra fallout deposit estimated from a single isopach, Journal of Volcanology and Geothermal Research, 96
- (45) Morris. P. A.(1995): Slab melting as an explanation of Quaternary volcanism and aseismicity in southwest Japan, Geology 23
- (46) 産業技術総合研究所(2018): 平成29年度原子力規制庁委託成果報告書 火山影響評価に係る技術知見の整備
- (47) Yamamoto.T・Hoang.N(2019): Geochemical variations of the Quaternary Daisen adakites, Southwest Japan, controlled by magma production rate, Lithos. 2019, Vol.350-351
- (48) 原子力規制庁(2019): 火山影響評価に係る科学的知見の整備, 安全研究成果報告
- (49) 産業技術総合研究所(2017): 平成28年度原子力規制庁委託成果報告書 火山影響評価に係る技術知見の整備
- (50) Zhao.D・Wei.W・Nishizono.Y・Inakura.H(2011): Low-frequency earthquakes and tomography in western Japan: Insight into fluid and magmatic activity, Journal of Asian Earth Sciences 42
- (51) 大見士朗(2002): 平成12年鳥取県西部地震の余震分布—震源座標の関数としての観測点補正值を用いた震源決定—, 地震2 54

- (52) Zhao.D・Liu.X・Hua.Y(2018) :Tottori earthquakes and Daisen volcano: Effects of fluids, slab melting and hot mantle upwelling, Earth and Planetary Science Letters 485
- (53) 宇井忠英編(1997): 火山噴火と災害, 東京大学出版
- (54) 鈴木建夫・勝井義雄・中村忠寿(1973): 樽前降下軽石堆積物Ta-b層の粒度組成, 火山 第2集 第18巻 第2号