

これまでの委員からのご質問への回答について

2020年10月27日
九州電力株式会社

1. 桜島大正噴火の火山灰シミュレーションについて
2. 自然災害時の非常用発電機の運用について



余白

1. 桜島大正噴火の火山灰シミュレーションについて

【ご質問】

桜島大正噴火の火山灰シミュレーションについて、
入力条件をよく検討して数値解析を行うこと。

1. 桜島大正噴火の火山灰シミュレーションについて

[目次]

1. 1 ご質問の背景の整理 (P5)

1. 2 2次元定常降灰シミュレーション (TEPHRA2) による敷地への影響確認 (P6)

1.2.1 再現計算によるパラメータの妥当性検討 (P6)

- ・ 文献に示される調査データ等をパラメータとして入力したシミュレーション結果による層厚分布と文献に記載される調査結果による層厚分布との比較により、再現性を検討し、入力パラメータの妥当性を確認。

1.2.2 敷地への影響確認 (P13)

- ・ 再現性が確認されたパラメータを用いて、5年分の風データに対する、川内原子力発電所地点での層厚、濃度を評価。

1. 3 3次元非定常降灰シミュレーション (FALL3D) による敷地への影響確認 (P19)

1.3.1 再現計算によるパラメータの妥当性検討 (P19)

- ・ 文献に示される調査データ等をパラメータとして入力したシミュレーション結果による層厚分布と文献に記載される調査結果による層厚分布との比較により、再現性を検討し、入力パラメータの妥当性を確認。

1.3.2 敷地への影響確認 (P25)

- ・ 風データのバラツキに関する検討として、再現性が確認されたパラメータを用いて、代表的な風データ、敷地向きの風データに対する、川内原子力発電所地点での層厚、濃度を評価した。

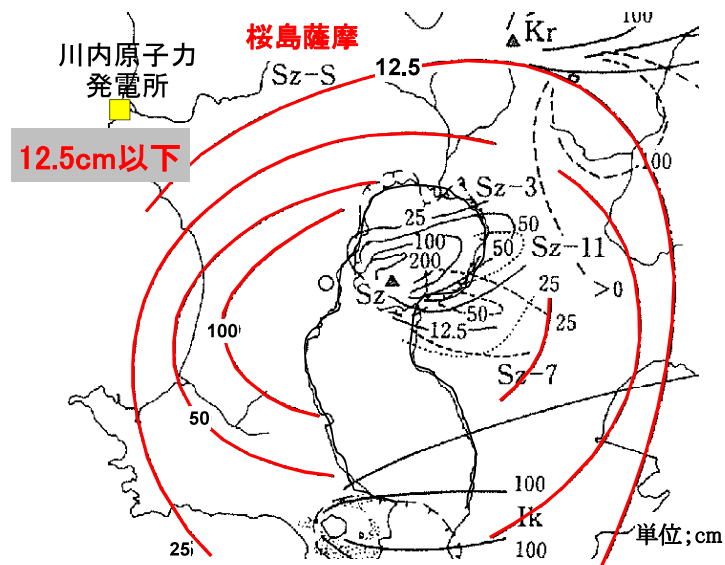
1.3.3 より保守的なケースの検討 (P30)

- ・ より保守的なケースとして、層厚、濃度への影響が大きい「噴出率」について、文献等で示される、より厳しいパラメータを用いた検討を行った。

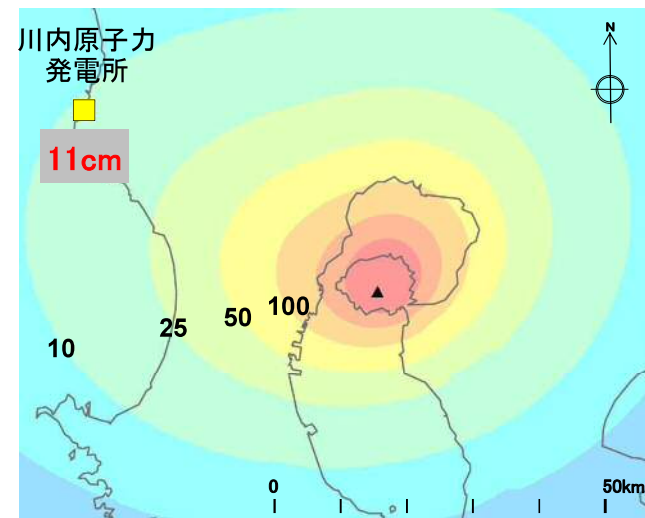
1. 4 まとめ (P36)

1.1 ご質問の背景の整理


- 当社は、約1.3万年前の「桜島薩摩噴火」を対象に、文献等の調査結果や降灰シミュレーション（TEPHRA2）結果を踏まえ、敷地における層厚を15cm、気中濃度を $3.3\text{g}/\text{m}^3$ と評価。
- 第7回、第9回専門委員会において、より発生頻度の高い（現実的に起こり得る可能性の高い）「桜島大正噴火（1914年）」を対象に、最大の風向・風速での敷地への影響を確認し、15cmの設定の保守性をご説明。
- 第9回専門委員会において、桜島大正噴火の火山灰シミュレーションの実施に当たっては、入力条件をよく検討して数値解析を行うこととのご指摘。



文献による降灰分布(町田・新井(2011))



降灰シミュレーションに基づく降灰分布
(8月の平均風を考慮した場合)

- 
- 1.1 ご質問の背景の整理
 - 1.2 **TEPHRA2による敷地への影響確認**
 - 1.2.1 **再現計算によるパラメータの妥当性検討**
 - 1.2.2 敷地への影響確認
 - 1.3 FALL3Dによる敷地への影響確認
 - 1.3.1 再現計算によるパラメータの妥当性検討
 - 1.3.2 敷地への影響確認
 - 1.3.3 より保守的なケースの検討
 - 1.4 まとめ

1.2 2次元定常降灰シミュレーション (TEPHRA2) による敷地への影響確認

1.2.1 再現計算によるパラメータの妥当性検討

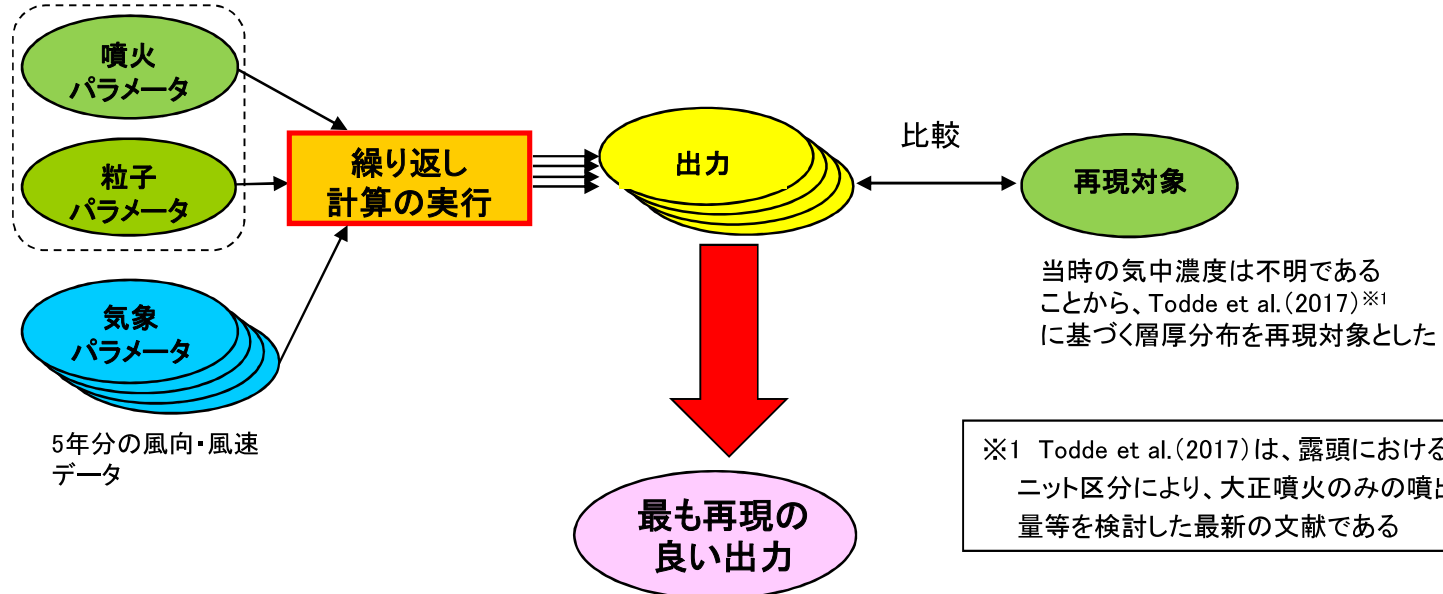
(1) 再現計算の概要

〔気象パラメータを変化させた再現計算〕

- ・ TEPHRA2では、噴火パラメータ、粒子パラメータ、気象パラメータの3つのパラメータを設定する。
- ・ 噴火パラメータ、粒子パラメータについては、文献に示される調査データ等を入力した。
- ・ 気象パラメータについては、1914年の風向・風速データを使用することが理想であるが、当時のデータは存在しないため、本検討では、過去5年分(2006年～2010年※²)のデータを用いて、再現性を検討した。

※² 大正噴火は冬(1月12日)であったため、過去5年分のデータのうち冬(12月～2月)のデータを使用

Todde et al.(2017)^{※1}に基づく
調査データ等を入力



1.2 2次元定常降灰シミュレーション (TEPHRA2) による敷地への影響確認

1.2.1 再現計算によるパラメータの妥当性検討

(2) 計算条件 [噴火パラメータ (噴出源)]

項目		単位	設定値	備考	
噴火 パラメータ	噴出源	噴出位置	—	北緯 31° 34′ 38″ 東経 130° 39′ 32″ 気象庁編(2013): 日本活火山総覧(第4版)より設定 (桜島南岳)	
		噴出標高	m	450(当時の火口)	Todde et al.(2017)より設定
		噴出物量	km ³	0.33	Todde et al.(2017)より設定
		噴煙柱高度	km	15	Todde et al.(2017)より設定
		PLUME_RATIO(噴煙柱のうち 粒子放出のない区間比)	—	0.1	噴煙のほぼ全領域からの放出を仮定

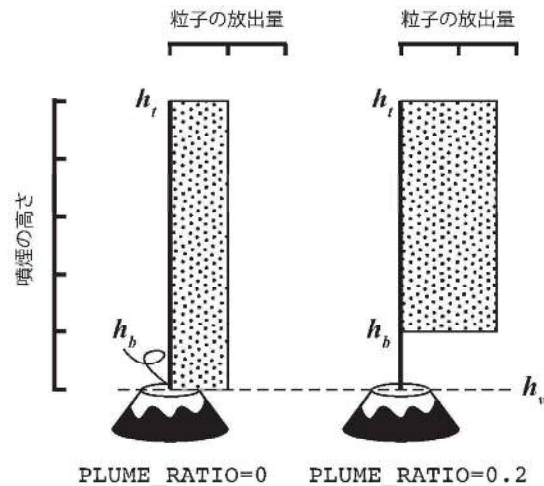


図7 PLUME_RATIO パラメータの概念図
粒子の放出範囲と放出量を網掛けで示す。面積として示される放出量は PLUME_RATIO の違いによって変化しないが、各高さにおける放出量は PLUME_RATIO に従って大きくなる。

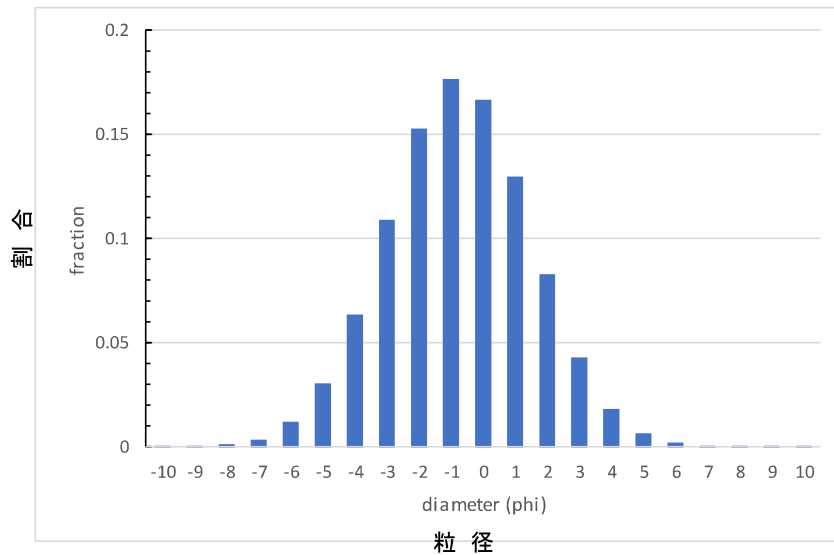
出典: 萬年(2013)

1.2 2次元定常降灰シミュレーション (TEPHRA2) による敷地への影響確認

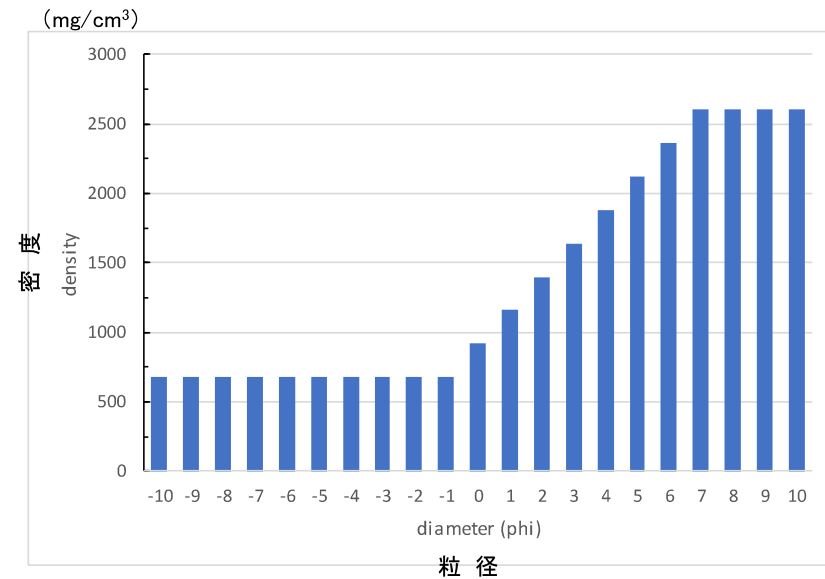
1.2.1 再現計算によるパラメータの妥当性検討

(2) 計算条件 [粒子パラメータ (粒径・密度)]

項目		単位	設定値	備考	
粒子 パラメータ	粒径	平均粒径	mm	$1/2^{-1.28} (\approx 2.4)$	Biass et al.(2017)より設定
		粒径分散	mm	$1/2^{2.25} (\approx 0.2)$	
		最大粒径	mm	$1/2^{-10} (= 1,024)$	TEPHRA2における推奨値 (左下図の通り、十分な範囲となっていることを確認)
		最小粒径	mm	$1/2^{10} (\approx 0.001)$	
密度	岩石密度	g/cm^3	2.6	TEPHRA2における推奨値 (岩石密度の一般値)	
	軽石密度	g/cm^3	0.676	Todde et al.(2017)より設定	



粒径分布



粒径毎の密度

1.2 2次元定常降灰シミュレーション (TEPHRA2) による敷地への影響確認

1.2.1 再現計算によるパラメータの妥当性検討

(2) 計算条件 [粒子パラメータ (拡散)]

項目		単位	設定値	備考	
粒子パラメータ	拡散	みかけ渦拡散係数(細粒)	m ² /s	0.04	Suzuki(1983)、萬年(2013)より設定
		拡散係数(粗粒)	m ² /s	2500	Biass et al.(2017)より設定
		Fall Time Threshold (粗粒または細粒の拡散式を適用する境界となる落下時間)	s	4000	

[拡散]

- 粒子の拡散については、細粒な粒子と粗粒な粒子で挙動が異なるため、TEPHRA2では、それぞれの拡散式が用意されている。

$$\overset{\text{細粒な粒子}}{\sigma_{i,j}^2 = \frac{8C}{5} (t_{i,j} + t_j')^{2.5}} \qquad \overset{\text{粗粒な粒子}}{\sigma_{i,j}^2 = 4K (t_{i,j} + t_j')}$$

C: みかけ渦拡散係数

K: 拡散係数

$\sigma_{i,j}$: 粒径iの粒子が高さjから放出された時の分散

$t_{i,j}$: 粒径iの粒子が高さjから落下して地表に達すまでの時間

t_j' : 噴煙の幅を表現するための仮想的な時間

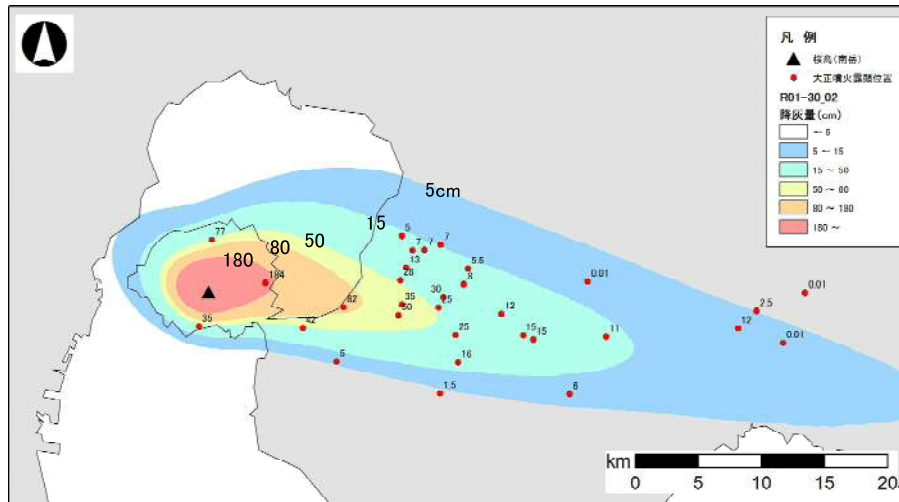
- どちらの式を用いるかは、落下時間で決められており、落下時間が短い場合は粗粒な式、長い場合は細粒な式を用いる。この境界の時間をFall Time Threshold(落下時間閾値)としている。

1.2 2次元定常降灰シミュレーション (TEPHRA2) による敷地への影響確認

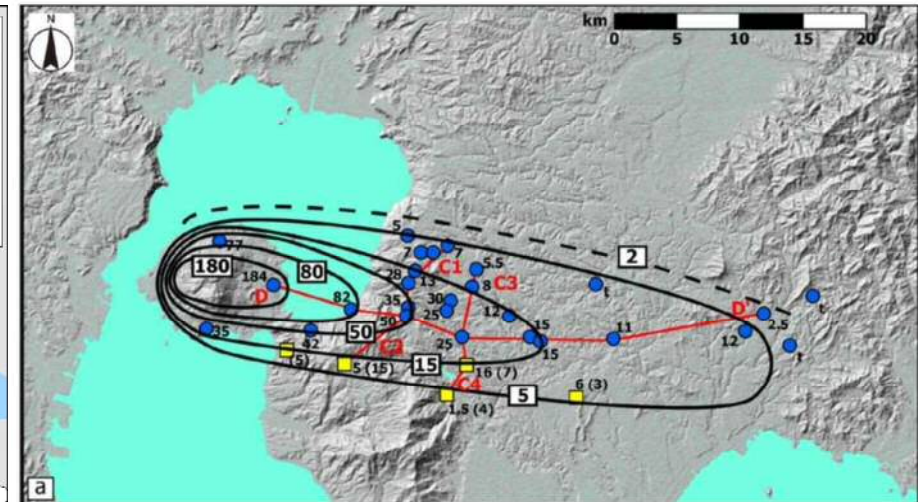
1.2.1 再現計算によるパラメータの妥当性検討

(3) 再現計算の結果 (層厚分布)

- 最も再現性の高い計算結果とTodde et al., 2017に記載される層厚分布との比較により、再現が概ね可能であることを確認。



再現計算結果
(2007年2月25日21時)

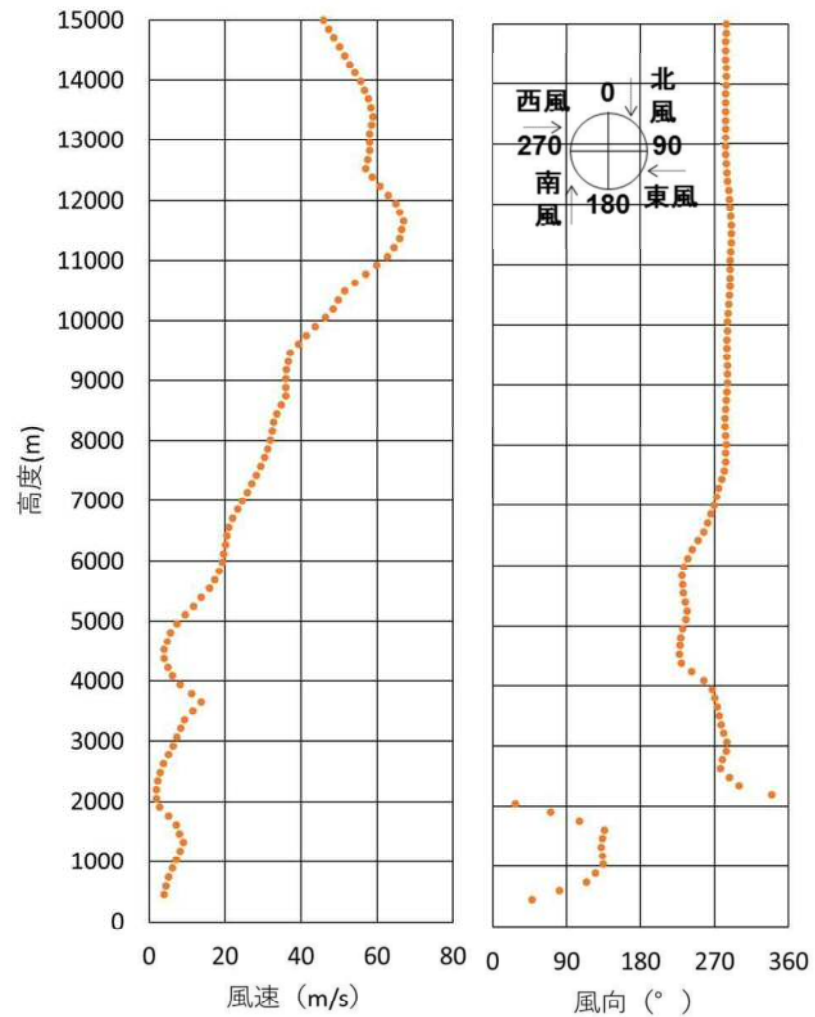


桜島大正噴火における火山灰層厚分布
(Todde et al., 2017)


1.2 2次元定常降灰シミュレーション (TEPHRA2) による敷地への影響確認

1.2.1 再現計算によるパラメータの妥当性検討

(3) 再現計算の結果 (風向・風速)



風向・風速 (2007年2月25日21時の風データ)

- 
- 1.1 ご質問の背景の整理
 - 1.2 **TEPHRA2による敷地への影響確認**
 - 1.2.1 再現計算によるパラメータの妥当性検討
 - 1.2.2 **敷地への影響確認**
 - 1.3 FALL3Dによる敷地への影響確認
 - 1.3.1 再現計算によるパラメータの妥当性検討
 - 1.3.2 敷地への影響確認
 - 1.3.3 より保守的なケースの検討
 - 1.4 まとめ

1.2 2次元定常降灰シミュレーション (TEPHRA2) による敷地への影響確認

1.2.2 敷地への影響確認 (1) 計算の概要

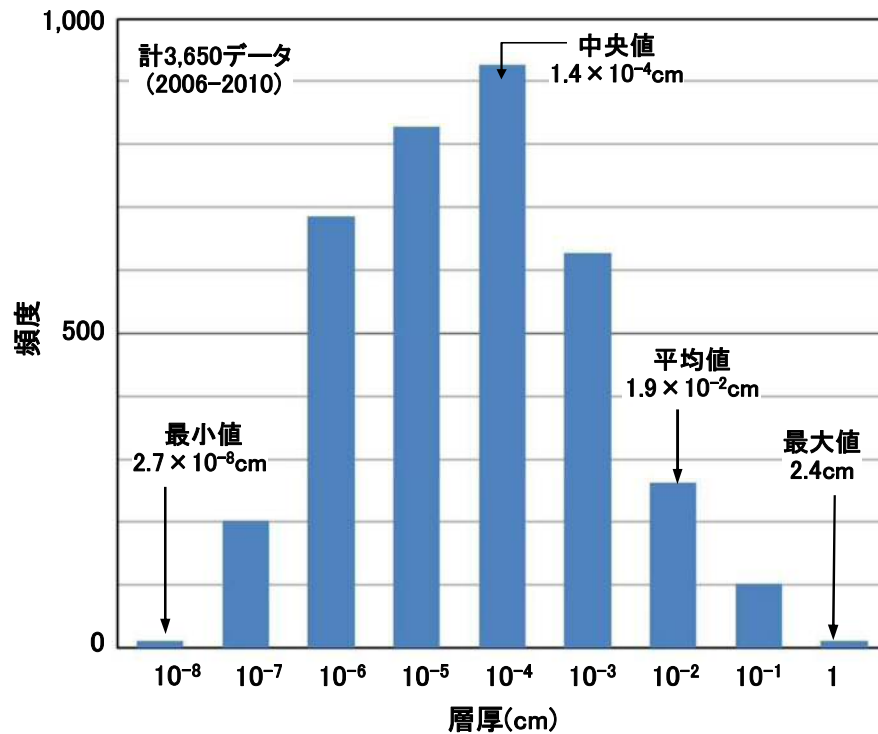
- 再現計算に基づくパラメータ (噴出標高は山頂に変更) を用いて、5年分の風データに対する、川内原子力発電所地点での層厚、濃度を評価。

項目		単位	設定値	備考	
噴火 パラメータ	噴出源	噴出位置	—	気象庁編(2013) : 日本活火山総覧(第4版)より設定 (桜島南岳)	
		噴出標高	m		1,060(山頂)
		噴出物量	km ³		0.33
		噴煙柱高度	km		15
		PLUME_RATIO(噴煙柱のうち 粒子放出のない区間比)	—		0.1
粒子 パラメータ	粒径	平均粒径	mm	Biass et al.(2017)より設定	
		粒径分散	mm		$1/2^{2.25}$ (≒0.2)
		最大粒径	mm	$1/2^{-10}$ (=1,024)	TEPHRA2における推奨値 (P7の通り、十分な範囲となっていることを確認)
		最小粒径	mm	$1/2^{10}$ (≒0.001)	
	密度	岩石密度	g/cm ³	2.6	TEPHRA2における推奨値 (岩石密度の一般値)
		軽石密度	g/cm ³	0.676	Todde et al.(2017)より設定
	拡散	みかけ渦拡散係数(細粒)	m ² /s	0.04	Suzuki(1983)、萬年(2013)より設定
		拡散係数(粗粒)	m ² /s	2500	
Fall Time Threshold (粗粒または細粒の拡散式を適 用する境界となる落下時間)		s	4000	Biass et al.(2017)より設定	
気象 パラメータ	風向、風速	—	鹿児島地方気象台の5年間(2006年~2010年)の全気象観測データ 【3,650データ=2回/日(9時、21時)の5年分】 ※うるう年+2データ、欠測▲2データ		

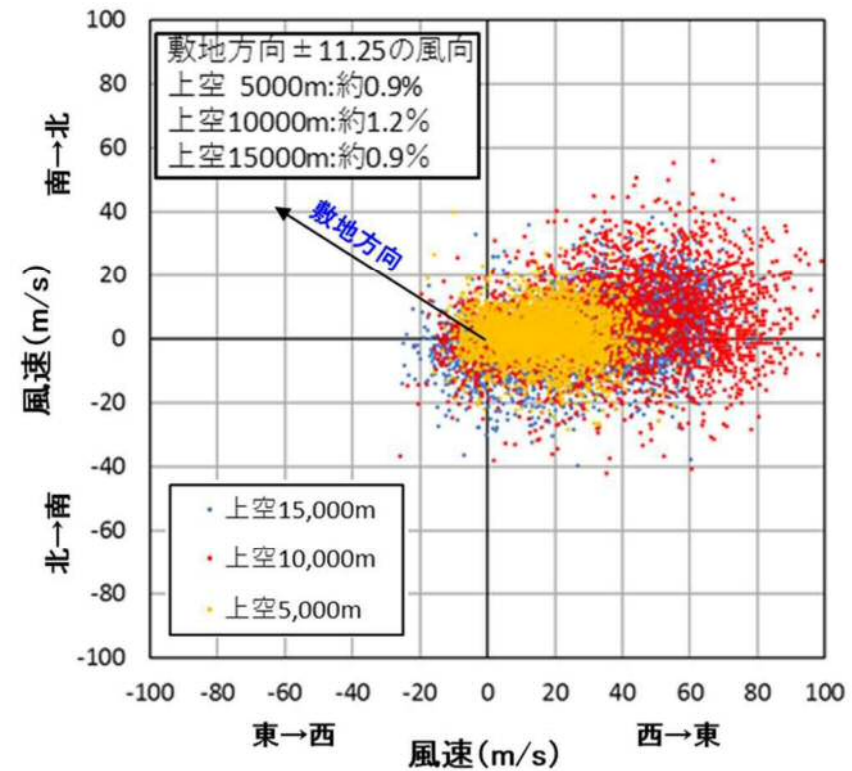
1.2 2次元定常降灰シミュレーション (TEPHRA2) による敷地への影響確認

1.2.2 敷地への影響確認 (2) 計算結果 (層厚)

- 桜島上空は年間を通じて西→東の風が大半であるため、敷地での降灰量は極めて少なく (中央値: 1.4×10^{-4} cm、最大値: 2.4cm)、当社評価 (15cm) を十分下回ることを確認。



全解析結果(敷地の層厚)のヒストグラム



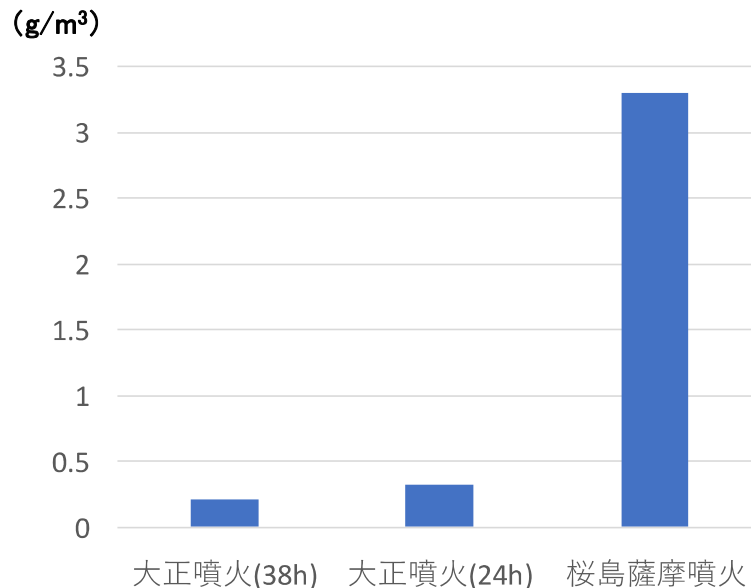
桜島上空の風の頻度分布(2006年~2010年)

1.2 2次元定常降灰シミュレーション (TEPHRA2) による敷地への影響確認

1.2.2 敷地への影響確認 (2) 計算結果 (気中濃度)

- 気中濃度は、火山ガイドに基づき、桜島薩摩噴火による火山灰層厚15cmが、24時間で積もると想定し、 $3.3\text{g}/\text{m}^3$ と評価。
- 桜島大正噴火時の気中濃度は、最大層厚 (2.4cm) 時においても、 $0.4\text{g}/\text{m}^3$ 以下であり、 $3.3\text{g}/\text{m}^3$ の当社評価を十分下回ることを確認。

[気中濃度]

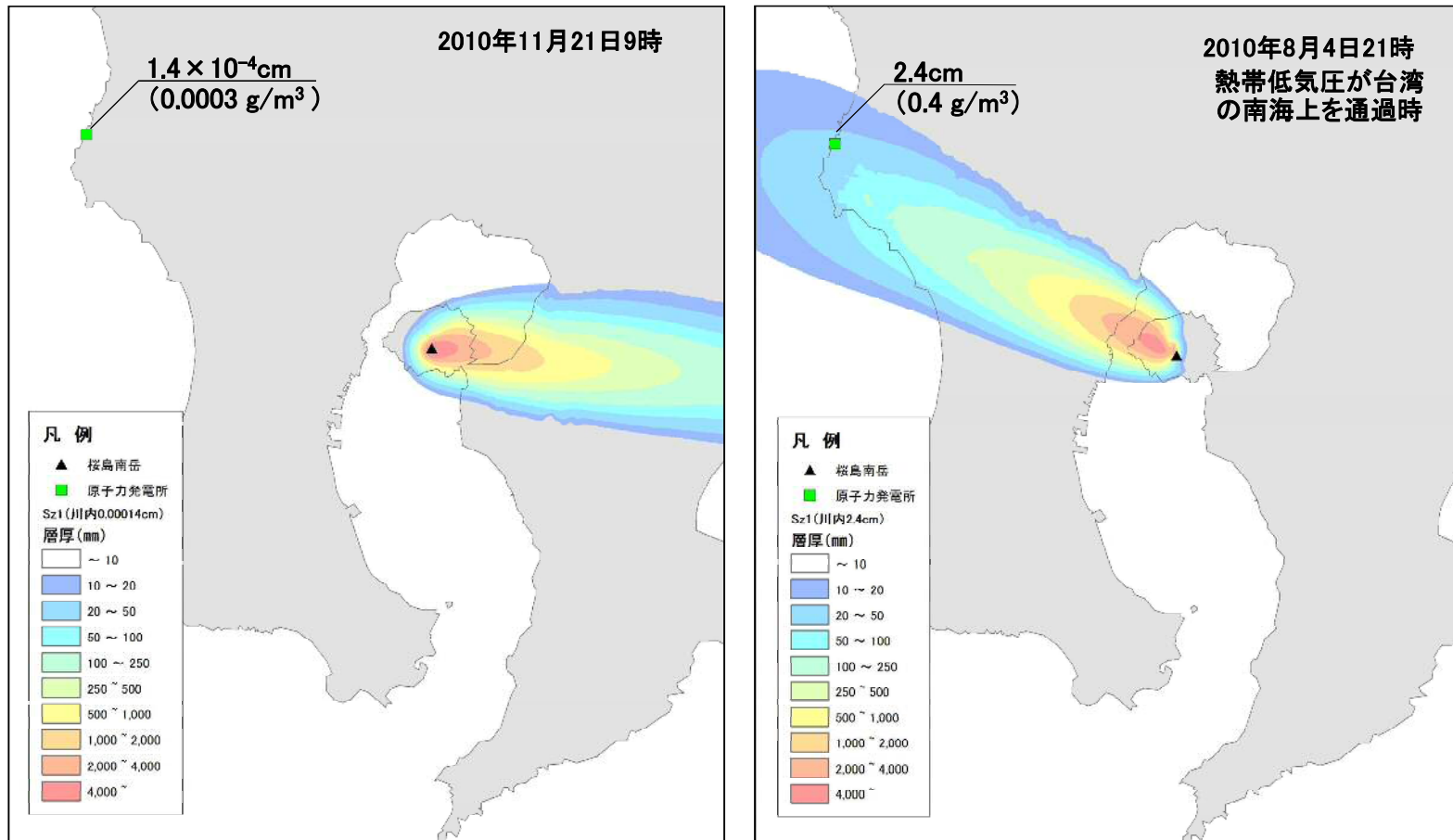


[気中濃度の算定手法]

- 粒径毎の気中濃度 = 降灰量 / (噴火継続時間・粒径毎の終端速度) により求められる粒径毎の気中濃度の総和を気中濃度としている
- 桜島大正噴火の噴火継続時間は、火山ガイド、防災モデル※¹を参考に、24,38時間を想定
 - ※ 鹿児島大学 地震火山地域防災センター 大規模火山噴火にレジリエントな地域社会の実現に向けた防災・減災の取り組み専門部会 交通への影響ワーキンググループ 桜島大噴火時の交通対策 暫定レポート 2018年5月版 P50等に基づき、噴火継続時間を38時間と想定
- 粒径毎の終端速度は、Suzuki(1983)に基づく値を設定

1.2 2次元定常降灰シミュレーション (TEPHRA2) による敷地への影響確認

1.2.2 敷地への影響確認 (2) 計算結果 (層厚分布)



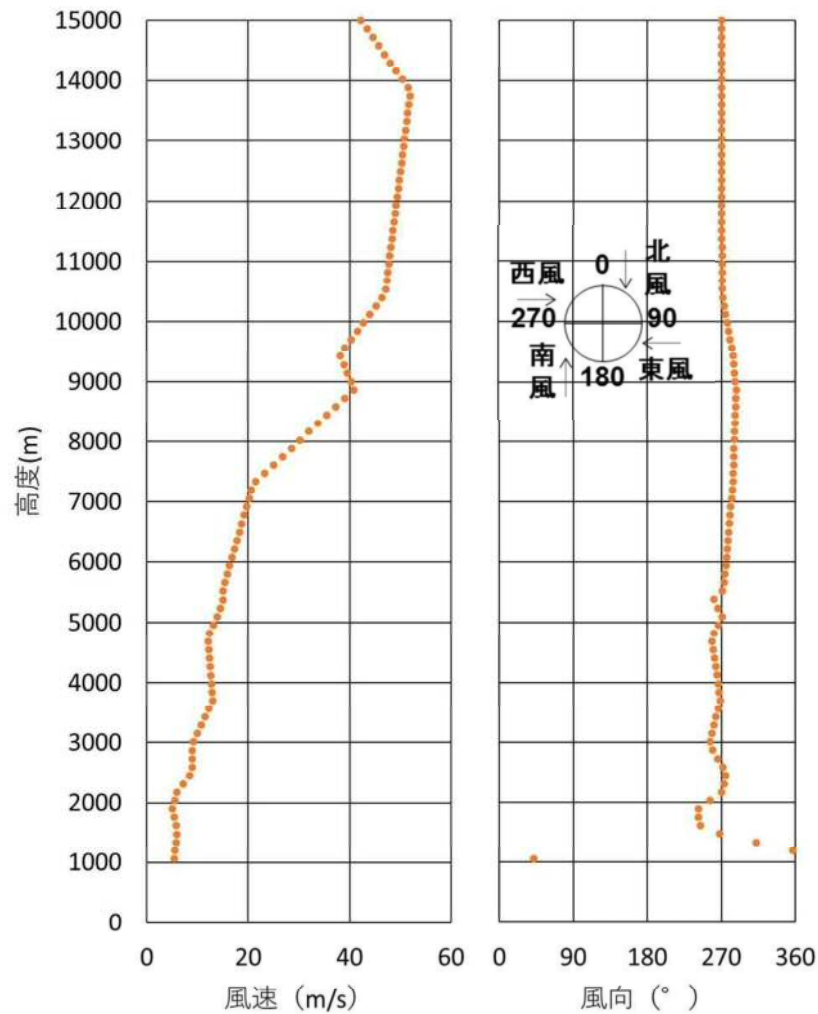
【中央値】降灰分布図

【最大値】降灰分布図

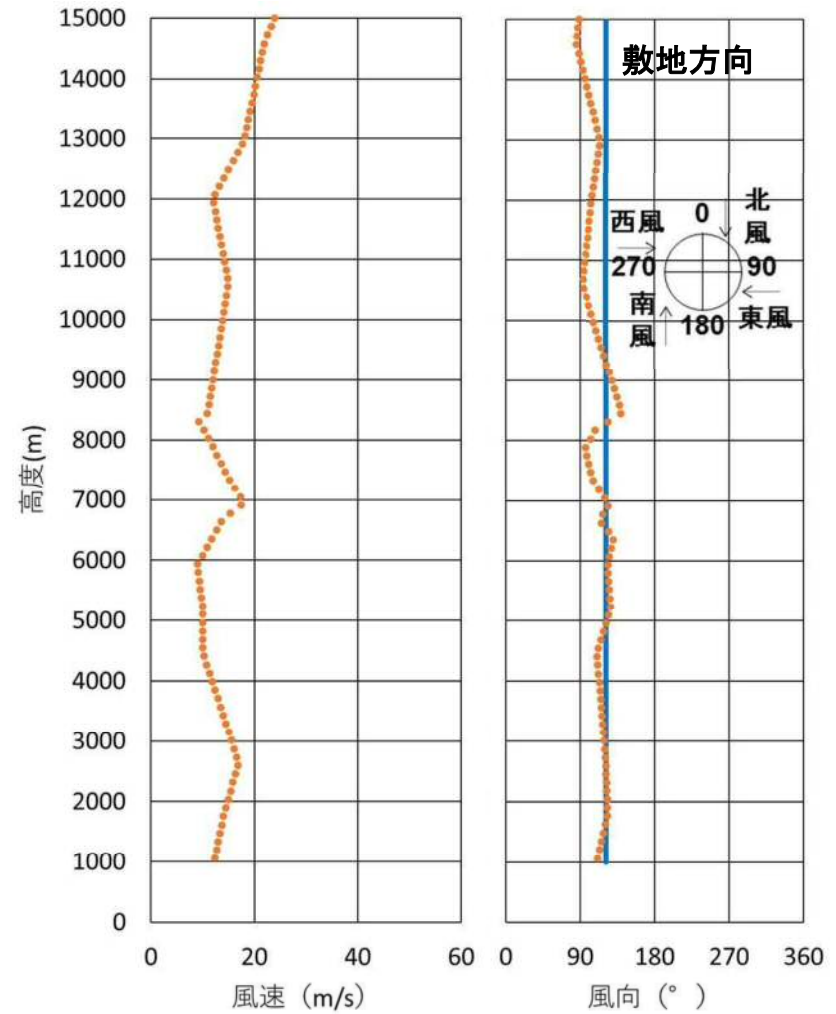
降灰シミュレーションに基づく降灰分布図(桜島大正噴火)

1.2 2次元定常降灰シミュレーション (TEPHRA2) による敷地への影響確認

1.2.2 敷地への影響確認 (2) 計算結果 (風向・風速)



【中央値】2010年11月21日9時の風データ



【最大値】2010年8月4日21時の風データ

風向・風速