

柏崎刈羽原子力発電所6号炉及び7号炉

火山影響評価について

(Tephra2のバグに関する報告)

平成28年12月13日

東京電力ホールディングス株式会社



1. 事象の概要

- 柏崎刈羽原子力発電所の火山影響評価において、「Tephra2」を用いた降下火砕物シミュレーションを実施。
- 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の解析コードに一部バグがあると発表。
- 同指摘を受け、当社の使用しているTephra2の解析コード（南フロリダ大学のChuck Connorらが開発したTephra 2（出典元：V-Hub））を確認したところ、粒子の落下速度の式に指摘されているバグがあることを確認。
- 同バグを修正して再計算した降灰層厚は、考慮すべき降下火砕物の降灰層厚（35cm）に包絡されていることを確認。

[降下火砕物の層厚の評価結果]

	妙高山	立山	浅間山	四阿山	沼沢	赤城山	
(1-0) 文献を用いた評価 (等層厚線図を用いた評価)	-	影響なし	影響なし	影響なし	影響なし	影響なし	
(1-1) 文献を用いた評価 (堆積速度からの試算)	約 23.1cm	-	-	-	-	-	
(1-2) 文献を用いた評価 (堆積量からの試算)	約 23cm	-	-	-	-	-	
(2) 既往解析結果の知見	約 15cm	-	-	-	-	-	
(3) 解析コードによるシミュレーション	従前	7.4cm	8.4cm	16.3cm	9.1cm	20.0cm	20.0cm
	再計算後	7.2cm	8.8cm	18.1cm	8.3cm	16.1cm	22.0cm
考慮すべき降下火砕物の降灰層厚	35cm						

[Tephra2：粒子の速度]

■ 原理式

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

$6 < Re(\text{レイルス数}) < 500$

d : 粒子径 ρ_p : 粒子密度 ρ_a : 大気密度
 μ : 大気の粘性 g : 重力加速度

■ 従前の計算に使用していた解析コード (=A/B×C)

```
temp1 = GRAV_SQRD_x_4 * part_density * part_density / AIR_VISCOSITY_x_225 * rho;
vti = ashdiam * pow(temp1, ONE_THIRD);
```

分母にかけべき大気密度 (rho) が分子にかけられている

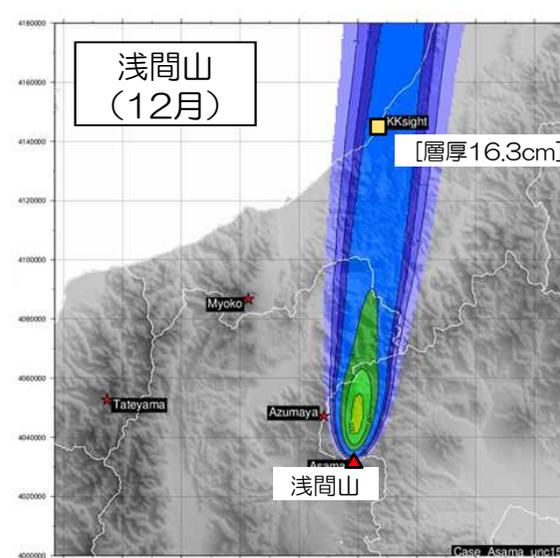
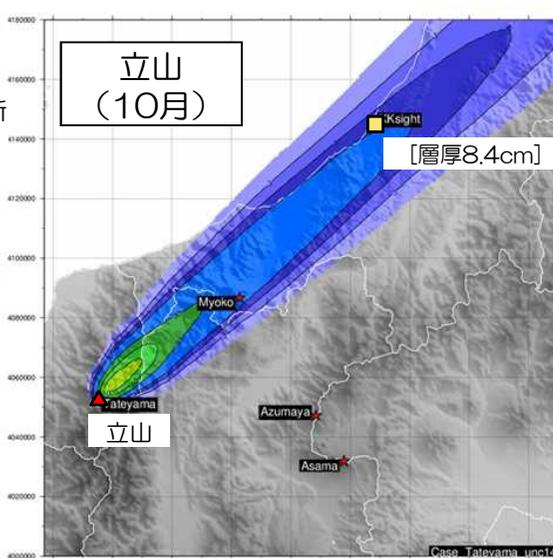
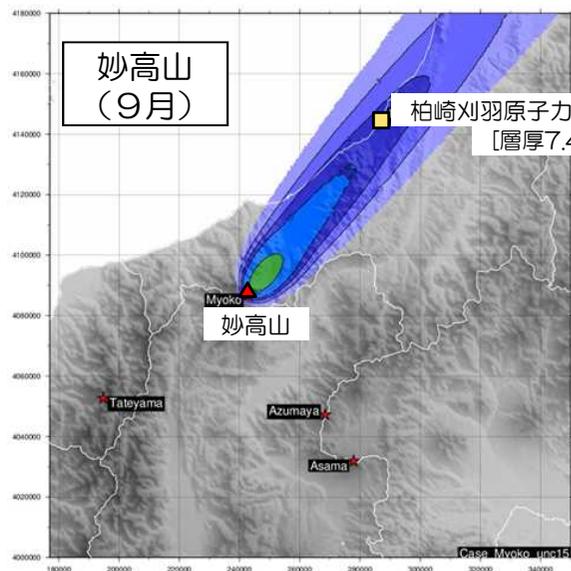
■ バグ修正後の解析コード (=A/ (B×C))

```
temp1 = GRAV_SQRD_x_4 * part_density * part_density / (AIR_VISCOSITY_x_225 * rho);
vti = ashdiam * pow(temp1, ONE_THIRD);
```

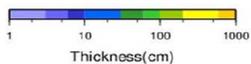
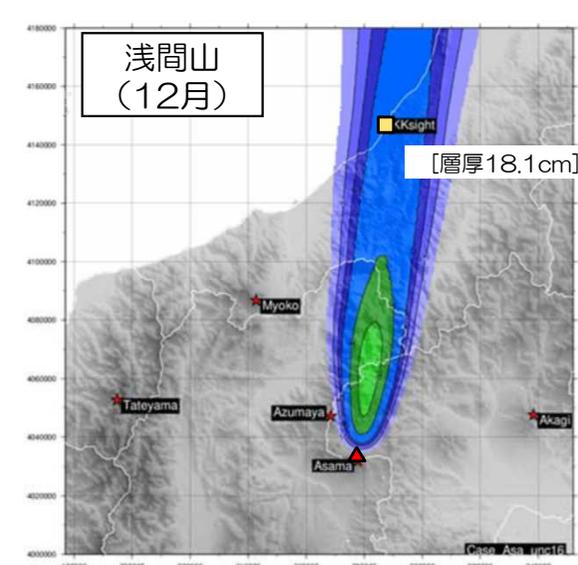
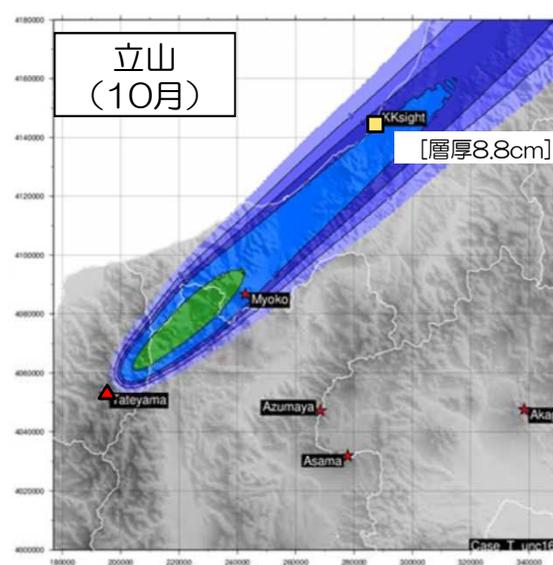
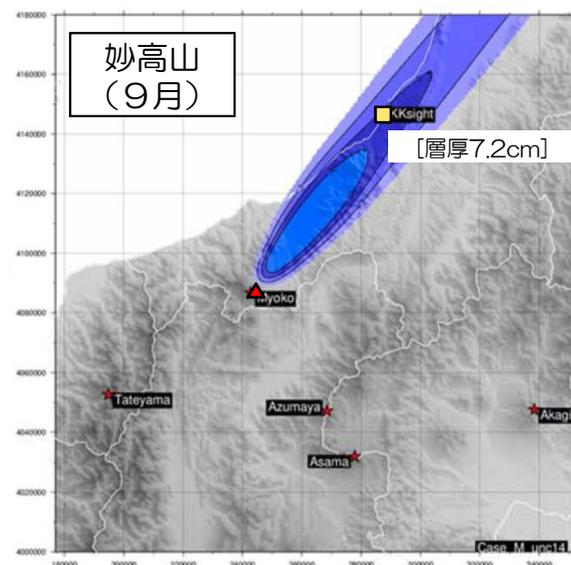
2. 降下火砕物シミュレーションの再計算結果（バグ修正前後の比較）

- 柏崎刈羽原子力発電所の降灰層厚が最も大きくなる条件（評価対象火山から発電所に向かう風を抽出し評価）では、柏崎刈羽原子力発電所における降灰層厚は、従前の計算結果とバグを修正して再計算した結果は概ね同じであり、考慮すべき降灰層厚（35cm）に包絡されていることを確認。

従前の計算結果
(バグ修正前)

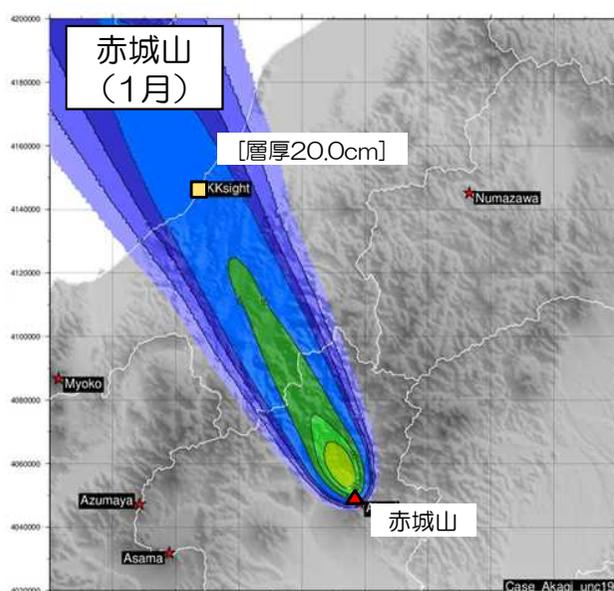
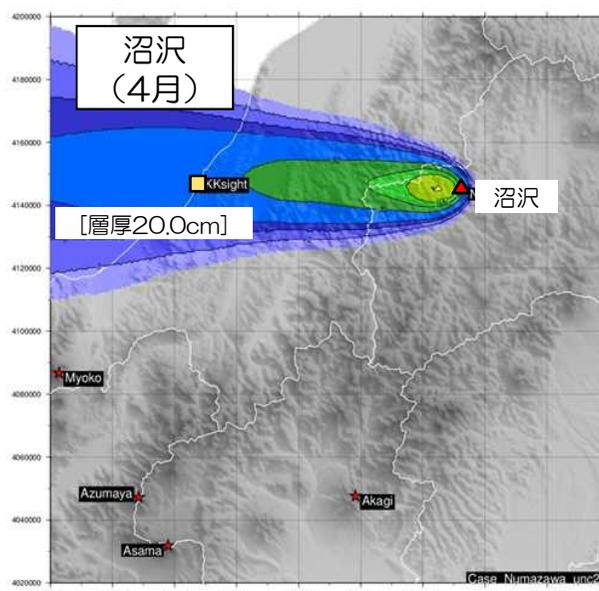
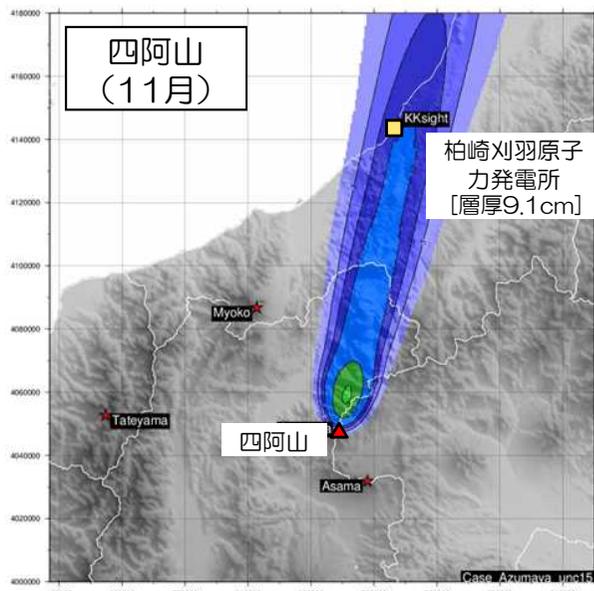


再計算結果
(バグ修正後)

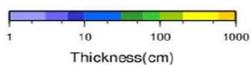
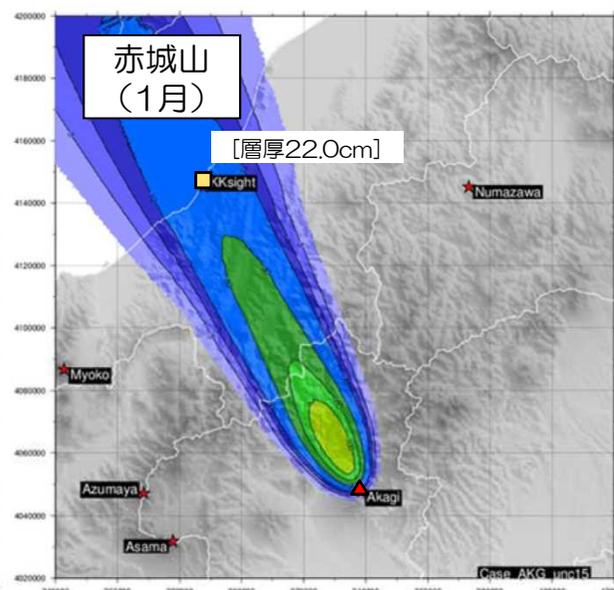
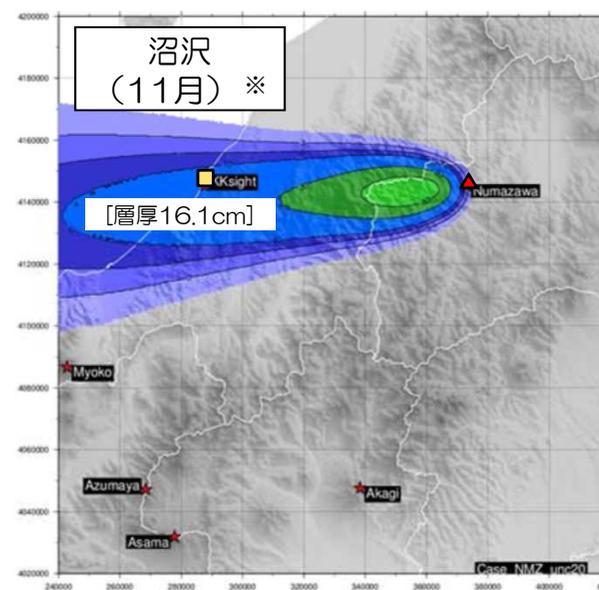
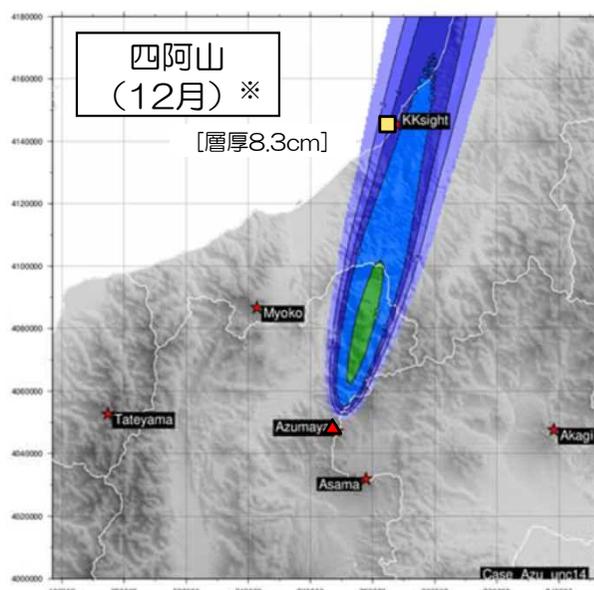


2. 降下火砕物シミュレーションの再計算結果（バグ修正前後の比較）

従前の計算結果
(バグ修正前)



再計算結果
(バグ修正後)



※バグ修正した再計算の結果、四阿山では11月より12月の方が、沼沢では4月より11月の方が発電所における降灰層厚が大きくなったことから、それぞれ12月と11月の分布図を記載した。

2. 降下火砕物シミュレーションの再計算結果（バグ修正前後の比較）

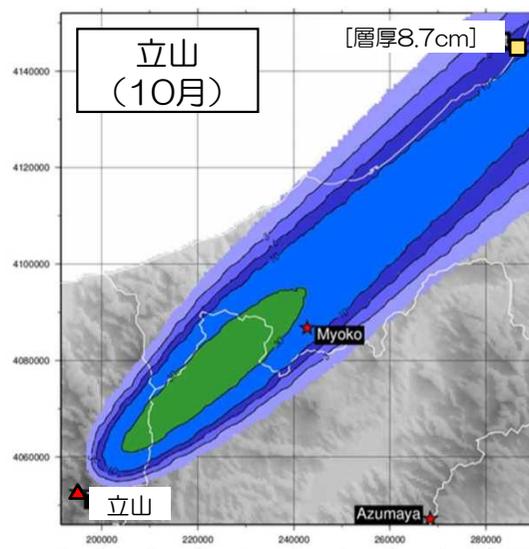
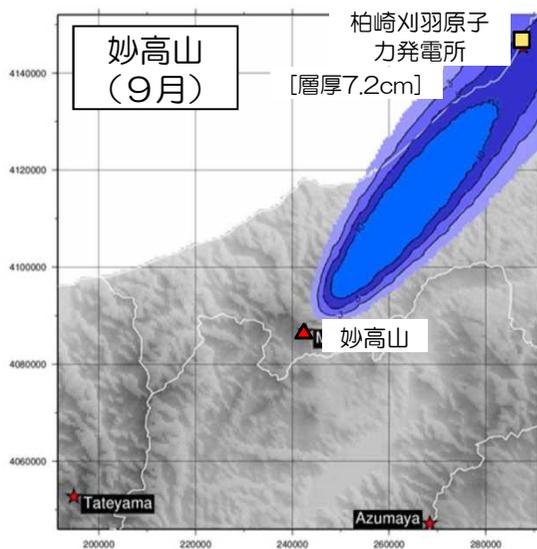
- 従前の計算と同様にバグ修正後の再計算においても、各パラメータについて、評価結果が最大になるパラメータの値を確認し、それらのパラメータを組み合わせ、最終的な堆積量を求めた。（青字は従前からの変更箇所）

項目	単位	分類	妙高山	立山	浅間山	四阿山	沼沢	赤城山
噴煙柱高度	m	従前	20,000	20,000	20,000	25,000	20,000	25,000
		再計算	25,000	35,000	30,000	同上	40,000	30,000
噴出量	kg	従前	1.0×10^{12}	3.1×10^{12}	4.0×10^{12}	2.13×10^{12}	4.0×10^{12}	5.0×10^{12}
		再計算	同上					
最大粒径	mm	従前	$1/2^{-6}$	$1/2^{-6}$	$1/2^{-6}$	$1/2^{-6}$	$1/2^{-6}$	$1/2^{-6}$
		再計算	同上					
最小粒径	mm	従前	$1/2^6$	$1/2^6$	$1/2^6$	$1/2^6$	$1/2^6$	$1/2^6$
		再計算	同上					
噴火口の東距	m	従前	242,780	194,790	277,880	268,420	373,160	338,320
		再計算	同上					
噴火口の北距	m	従前	4,086,720	4,052,710	4,031,870	4,047,170	4,145,140	4,047,610
		再計算	同上					
噴火口の標高	m	従前	2,454	2,621	2,568	2,354	835	1,828
		再計算	同上					
岩片粒子密度	kg/m ³	従前	1,000	2,600	2,600	2,600	1,000	1,000
		再計算	同上	1,000	1,000	1,000	同上	同上
軽石粒子密度	kg/m ³	従前	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
		再計算	同上					
噴煙放出下限高度比	-	従前	0.2	0.2	0.3	0.4	0.4	0.3
		再計算	0.3	0.3	0.4	0.3	0.6	同上
風速	-	従前	平均風速	平均風速	+ σ	平均風速	+ 2σ	+ 2σ
		再計算	+ 2σ	+ σ	同上	+ 2σ	同上	同上
堆積量	cm	従前	7.4	8.4	16.3	9.1	20.0	20.0
		再計算	7.2	8.8	18.1	8.3	16.1	22.0

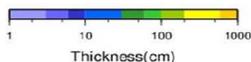
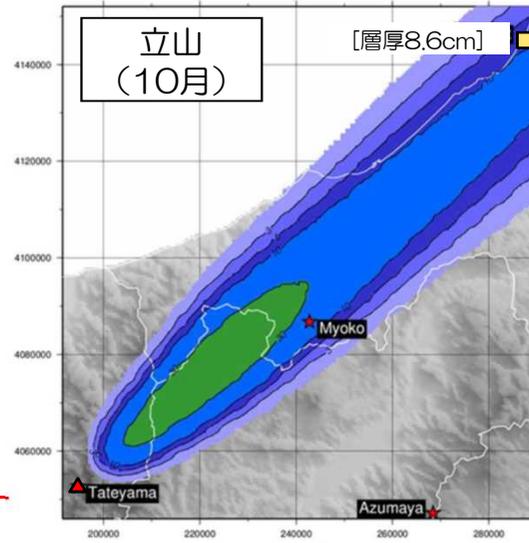
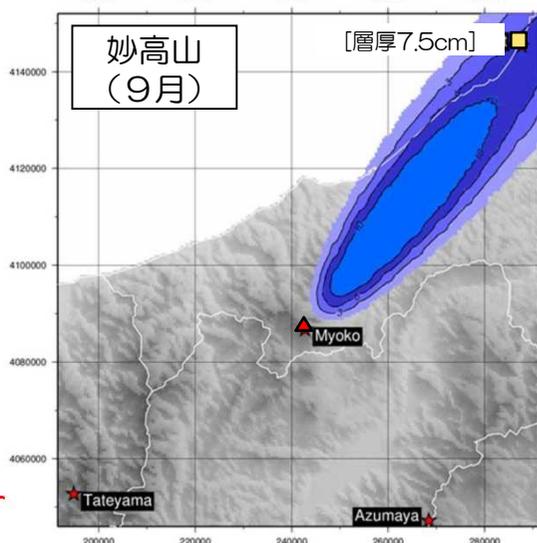
3. 降下火砕物シミュレーションの再計算結果（産総研のコードとの比較）

- バグを修正した解析コード（V-Hubのコード）の妥当性を確認するため、国立研究開発法人産業技術総合研究所がHP（G-Ever火山災害予測支援システム）上で公開しているTephra2※にて、柏崎刈羽原子力発電所の降灰層厚が最も大きくなる条件で計算した結果とも比較をした。 ※産総研のコードについては、バグが修正済であることを確認済
- その結果、柏崎刈羽原子力発電所における降灰層厚は概ね同じであるため、バグを修正した解析コードの計算結果は妥当であることを確認。

V-Hubのコード
による結果
(バグ修正後)

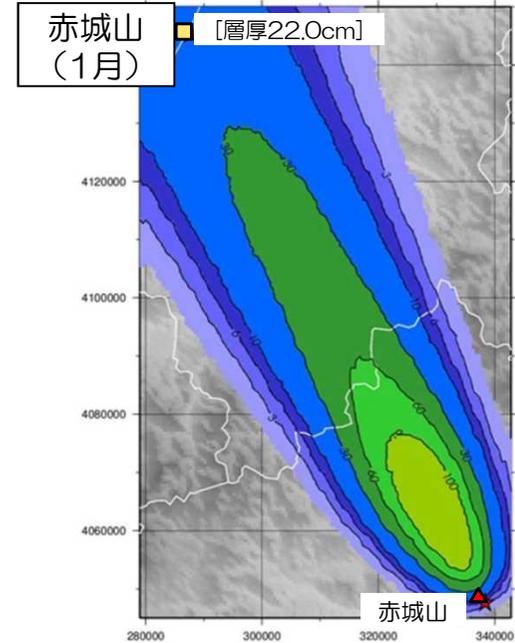
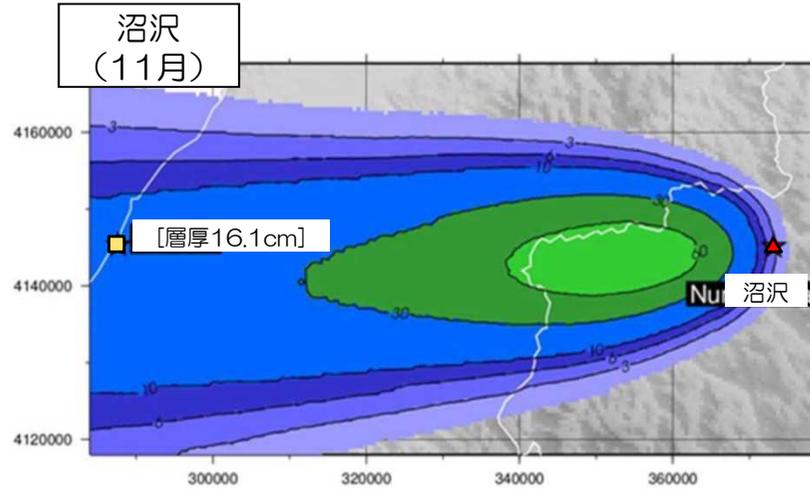
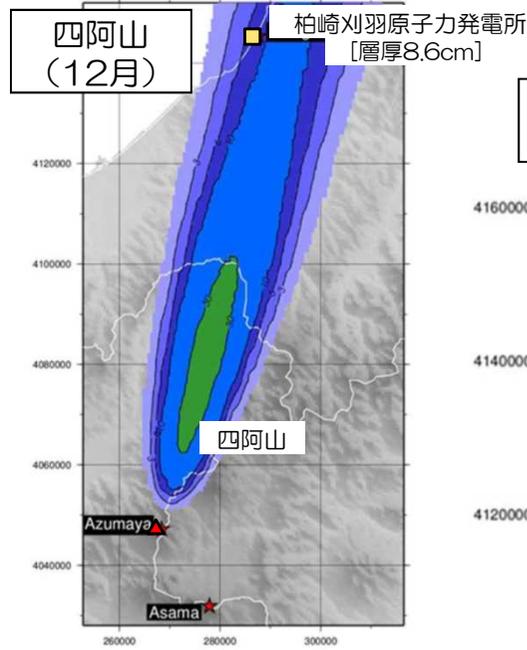


産総研のコード
による結果
(バグ修正後)

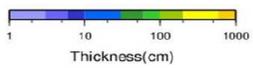
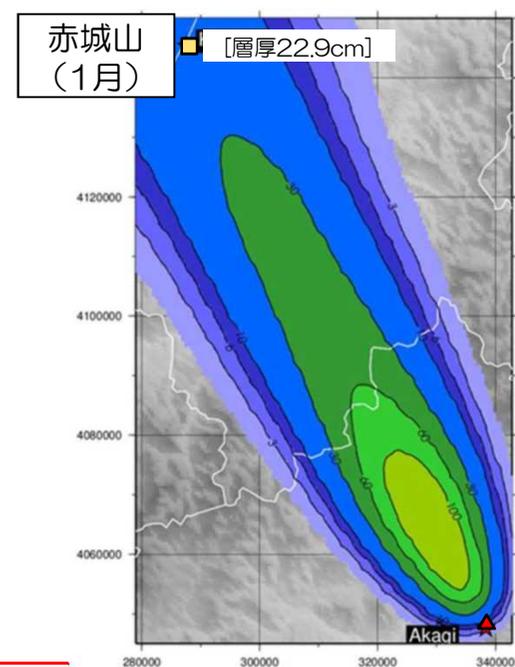
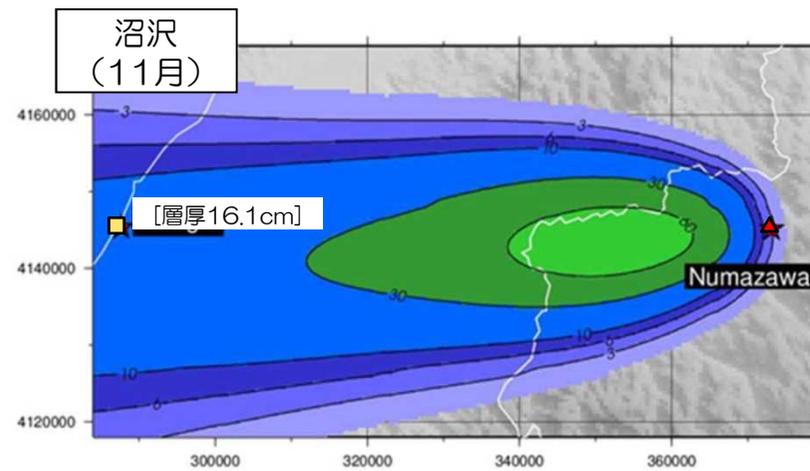
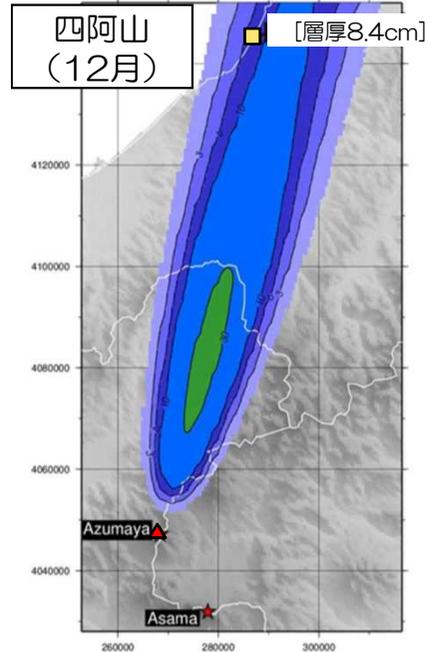


3. 降下火砕物シミュレーションの再計算結果（産総研のコードとの比較）

V-Hubのコード
による結果
(バグ修正後)



産総研のコード
による結果
(バグ修正後)



3. 降下火砕物シミュレーションの再計算結果（産総研のコードとの比較）

- バグを修正した解析コード（V-Hubのコード）と産総研のコードを用いた計算は、柏崎刈羽原子力発電所の降灰層厚が最も大きくなる以下の共通の条件にて最終的な堆積量を求めた。

項目	単位	分類	妙高山	立山	浅間山	四阿山	沼沢	赤城山
噴煙柱高度	m	V-Hub／産総研	25,000	35,000	30,000	25,000	40,000	30,000
噴出量	kg	V-Hub／産総研	1.0×10^{12}	3.1×10^{12}	4.0×10^{12}	2.13×10^{12}	4.0×10^{12}	5.0×10^{12}
最大粒径	mm	V-Hub／産総研	$1/2^{-6}$	$1/2^{-6}$	$1/2^{-6}$	$1/2^{-6}$	$1/2^{-6}$	$1/2^{-6}$
最小粒径	mm	V-Hub／産総研	$1/2^6$	$1/2^6$	$1/2^6$	$1/2^6$	$1/2^6$	$1/2^6$
噴火口の東距※	m	V-Hub／産総研	242,800	194,869	277,828	268,395	372,870	338,244
噴火口の北距※	m	V-Hub／産総研	4,086,671	4,052,685	4,031,811	4,047,159	4,145,320	4,047,528
噴火口の標高※	m	V-Hub／産総研	2,362	2,582	2,556	2,360	721	1,783
岩片粒子密度	kg/m ³	V-Hub／産総研	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
軽石粒子密度	kg/m ³	V-Hub／産総研	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
噴煙放出下限高度比	-	V-Hub／産総研	0.3	0.3	0.4	0.3	0.6	0.3
風速	-	V-Hub／産総研	+ 2σ	+ σ	+ σ	+ 2σ	+ 2σ	+ 2σ
堆積量	cm	V-Hub	7.2	8.7	18.0	8.6	16.1	22.0
		産総研	7.5	8.6	17.3	8.4	16.1	22.9

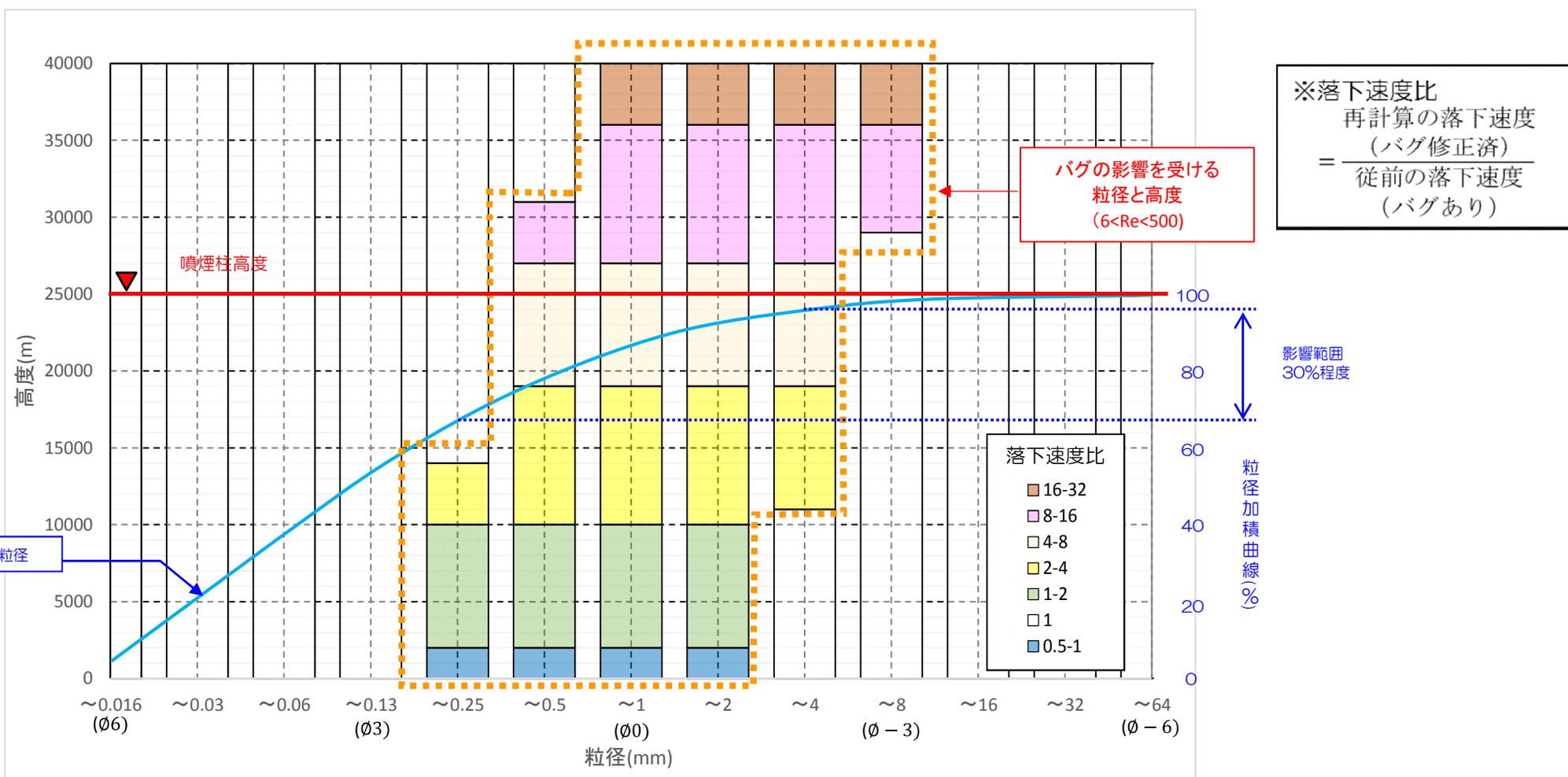
※産総研のコードの火口座標値はマウスクリックにて設定する方式であり厳密な座標設定が困難であることから、V-hubのコードでは、産総研のコードで設定した火口座標値を用い実施した。また、入力地形のメッシュサイズについても、共通の設定（ASTER GDEM（600m））とした。

《V-Hubのコードと産総研のコードによる計算結果の差異に関する考察》

萬年（2013）によると、当社の使用しているTephra2の解析コード（出典元：V-Hub）では、海面における風速を0とし、風データで与えられた火口標高の風速が海面に向かって線形減少するものと仮定している一方、産総研のコードではそのような仮定をしていないことから、堆積量に僅かな差異が生じたものと考えられる。

(参考) Tephra2のバグの影響

- Tephra2のバグの影響は、粒径が概ね0.25mm~4mmの範囲で生じ、高度がたかいほど、粒子の落下速度比が大きくなる。
- 柏崎刈羽原子力発電所の計算においては、バグの影響を受ける粒径（0.25mm~4mm）が全体の約30%であり、降灰層厚に与えるバグの影響は小さいと考えられる。



火山灰の粒径と各高度におけるバグの影響範囲