

# 伊方発電所3号炉 火山影響評価について

令和5年2月28日  
四国電力株式会社

I.	火山影響評価の流れ	P2
II.	立地評価	P5
	1. 地理的領域に分布する第四紀火山の抽出	P6
	2. 原子力発電所に影響を及ぼし得る火山の抽出	P9
	3. 抽出された火山の火山活動に関する個別評価	P12
III.	影響評価	P22
	1. 原子力発電所の安全性に影響を与える	
	可能性のある火山事象の抽出	P23
	2. 地理的領域外の火山による広域火山灰の評価	P26
	3. 地理的領域内の火山による降下火山灰の地質調査	P31
	4. 地理的領域内の火山による降下火山灰シミュレーション	P37
	5. 設計で考慮する降下火砕物	P60
	6. 影響評価（まとめ）	P68
IV.	まとめ	P70
	参考文献	P72

- 
- I. 火山影響評価の流れ
  - II. 立地評価
  - III. 影響評価
  - IV. まとめ

# 火山影響評価の流れ(火山影響評価ガイド)

○原子力規制委員会の「原子力発電所の火山影響評価ガイド」に従い、まず立地評価を行い、次に影響評価を行う。

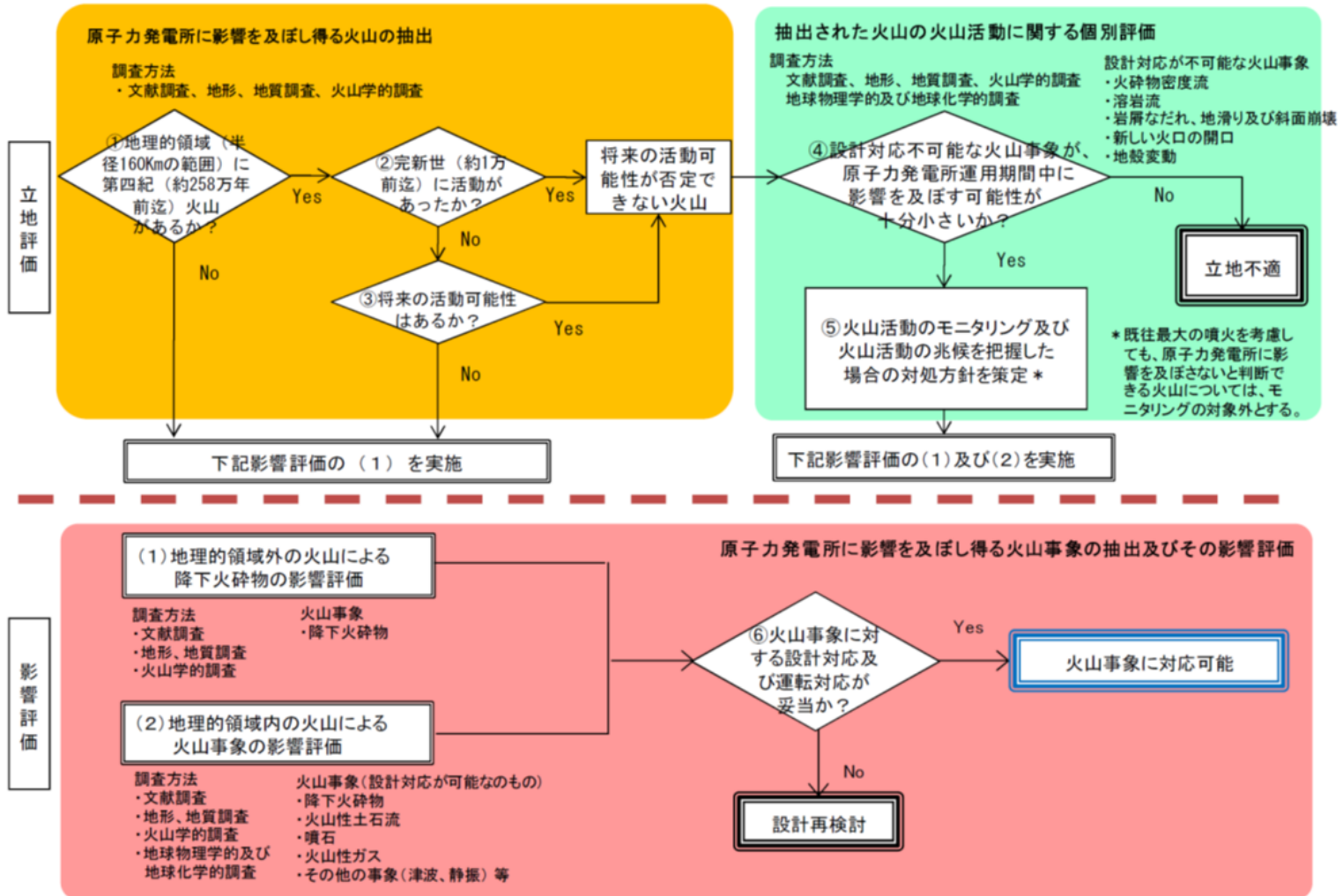


図1 原子力発電所に影響を及ぼす火山影響評価の基本フロー 「原子力発電所の火山影響評価ガイド」から抜粋

# 伊方発電所における火山影響評価の流れ

II 立地評価

III 影響評価

## II. 1. 地理的領域(半径160kmの範囲)に分布する第四紀火山の抽出

42火山

## II. 2. 原子力発電所に影響を及ぼし得る火山の抽出

○完新世に活動を行った活火山

5火山  
鶴見岳, 由布岳, 九重山, 阿蘇, 阿武火山群

○将来の活動可能性が否定できない火山

2火山  
姫島, 高平火山群

○将来の活動可能性のない火山  
35火山

## II. 3. 抽出された火山の火山活動に関する個別評価

○抽出された火山の活動性に関する個別評価

- ・阿蘇は運用期間中の噴火規模を検討し、現在の噴火ステージにおける既往最大規模を考慮
- ・阿蘇以外の火山は既往最大規模の噴火を考慮

○設計対応不可能な火山事象

火砕物密度流・溶岩流・岩屑なだれ、地滑り及び斜面崩壊・新しい火口の開口・地殻変動

敷地への到達なし

## III. 1. 原子力発電所の安全性に影響を与える可能性のある火山事象の抽出

○発電所に影響を与える可能性のある火山事象  
降下火砕物

○発電所に影響を与える可能性のない火山事象  
火山性土石流、火山泥流及び洪水・火山から発生する飛来物(噴石)・火山ガス・大気現象・熱水系及び地下水の異常

- ・津波及び静振は「津波評価」において影響を確認(山体崩壊を考慮)
- ・火山性地震とこれに関連する事象は「地震動評価」において影響を確認(M7.1を考慮)

## III. 2. 地理的領域外の火山による広域火山灰の評価

○広域火山灰の評価

文献調査及び地質調査による厚い火山灰は九州のカルデラ火山を起源とする広域火山灰であり、発電所運用期間中に同規模の噴火の可能性は十分低く、降下火砕物が敷地に影響を及ぼす可能性は十分に小さいと評価

## III. 3. 地理的領域内の火山による降下火山灰の地質調査

○地理的領域内の火山による降下火山灰の文献調査

地理的領域内の火山による降下火山灰の等層厚線図として、九重第一軽石と草千里ヶ浜軽石が示されている  
 ・九重第一軽石: 四国南西端の宿毛市で火山灰の報告あり  
 ・草千里ヶ浜軽石: 四国における報告なし

○九重第一軽石に関する地質調査

・既存文献に示された通り、九重第一軽石の分布の長軸は四国南西端方向であり、敷地付近における降下厚さは**ほぼ0cm**と評価される

## III. 4. 地理的領域内の火山による降下火山灰シミュレーション

約5万年前の九重第一軽石は当時の気象条件に応じて東南東方向へ火山灰が降下したが、同様の噴火が起こった時に現在の気象条件を考慮して敷地にどのような降灰が想定されるかを検討する。  
 ジェット気流がほぼ真西で安定する季節は敷地における降下厚さは**ほぼ0cm**と評価される。ただし、同規模の噴火時に風向きによっては敷地において厚さ数cmの降下火山灰が想定され、さらに既存の知見よりも噴出量を大きく見積もると**十数cm**の降下火山灰が想定される。

## III. 5. 設計で考慮する降下火砕物

原子力安全に対する信頼向上の観点から、既存の知見を上回る噴出量を考慮し、敷地において考慮すべき降下火砕物の厚さを保守的に**15cm**と評価する。また、地質調査結果及び文献調査結果に基づき、乾燥密度を0.5g/cm<sup>3</sup>、湿潤密度を1.5g/cm<sup>3</sup>、粒径を1mm以下主体と評価する。

## III. 6. 影響強化(まとめ)

- 
- I. 火山影響評価の流れ
  - II. 立地評価
  - III. 影響評価
  - IV. まとめ

## II. 1. 地理的領域(半径160kmの範囲)に分布する第四紀火山の抽出

42火山

## II. 2. 原子力発電所に影響を及ぼし得る火山の抽出

○完新世に活動を行った活火山

5火山

鶴見岳, 由布岳, 九重山, 阿蘇, 阿武火山群

○将来の活動可能性が否定できない火山

2火山

姫島, 高平火山群

○将来の活動可能性のない火山

35火山

## II. 3. 抽出された火山の火山活動に関する個別評価

○抽出された火山の活動性に関する個別評価

- ・阿蘇は運用期間中の噴火規模を検討し, 現在の噴火ステージにおける既往最大規模を考慮
- ・阿蘇以外の火山は既往最大規模の噴火を考慮

○設計対応不可能な火山事象

火砕物密度流・溶岩流・岩屑なだれ, 地滑り及び斜面崩壊・新しい火口の開口・地殻変動

敷地への到達なし

## III. 1. 原子力発電所の安全性に影響を与える可能性のある火山事象の抽出

○発電所に影響を与える可能性のある火山事象  
降下火砕物

○発電所に影響を与える可能性のない火山事象

火山性土石流, 火山泥流及び洪水・火山から発生する飛来物(噴石)・火山ガス・大気現象・熱水系及び地下水の異常

- ・津波及び静振は「津波評価」において影響を確認(山体崩壊を考慮)
- ・火山性地震とこれに関連する事象は「地震動評価」において影響を確認(M7.1を考慮)

## III. 2. 地理的領域外の火山による広域火山灰の評価

○広域火山灰の評価

文献調査及び地質調査による厚い火山灰は九州のカルデラ火山を起源とする広域火山灰であり, 発電所運用期間中に同規模の噴火の可能性は十分低く, 降下火砕物が敷地に影響を及ぼす可能性は十分に小さいと評価

## III. 3. 地理的領域内の火山による降下火山灰の地質調査

○地理的領域内の火山による降下火山灰の文献調査

地理的領域内の火山による降下火山灰の等層厚線図として, 九重第一軽石と草千里ヶ浜軽石が示されている

- ・九重第一軽石: 四国南西端の宿毛市で火山灰の報告あり
- ・草千里ヶ浜軽石: 四国における報告なし

○九重第一軽石に関する地質調査

・既存文献に示された通り, 九重第一軽石の分布の長軸は四国南西端方向であり, 敷地付近における降下厚さはほぼ0cmと評価される

## III. 4. 地理的領域内の火山による降下火山灰シミュレーション

約5万年前の九重第一軽石は当時の気象条件に応じて東南東方向へ火山灰が降下したが, 同様の噴火が起こった時に現在の気象条件を考慮して敷地にどのような降灰が想定されるかを検討する。

ジェット気流がほぼ真西で安定する季節は敷地における降下厚さはほぼ0cmと評価される。ただし, 同規模の噴火時に風向きによっては敷地において厚さ数cmの降下火山灰が想定され, さらに既存の知見よりも噴出量を大きく見積もると十数cmの降下火山灰が想定される。

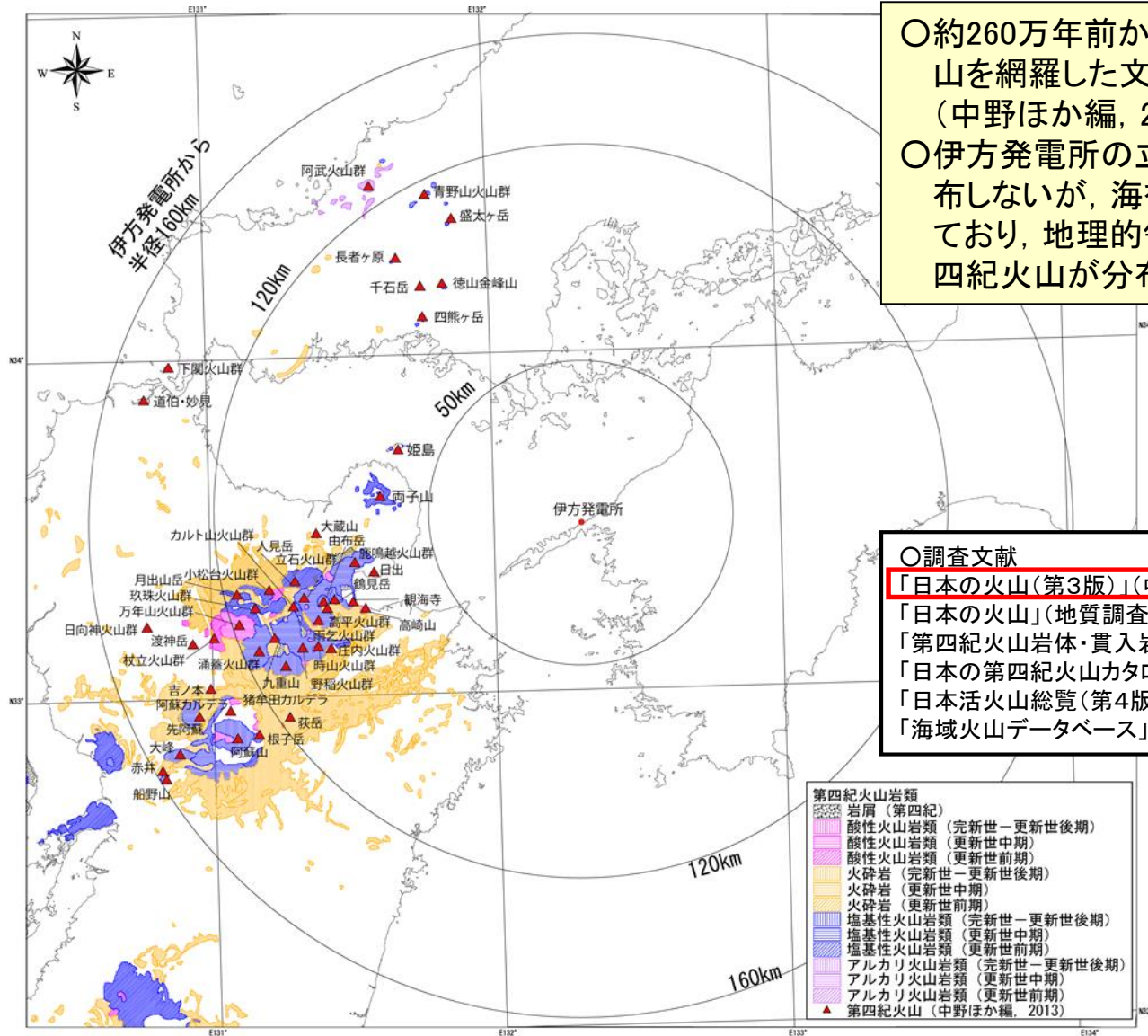
## III. 5. 設計で考慮する降下火砕物

原子力安全に対する信頼向上の観点から, 既存の知見を上回る噴出量を考慮し, 敷地において考慮すべき降下火砕物の厚さを保守的に15cmと評価する。また, 地質調査結果及び文献調査結果に基づき, 乾燥密度を0.5g/cm<sup>3</sup>, 湿潤密度を1.5g/cm<sup>3</sup>, 粒径を1mm以下主体と評価する。

## III. 6. 影響強化(まとめ)



# 第四紀火山の抽出①



○約260万年前から現在までに活動した第四紀火山を網羅した文献として「日本の火山(第3版)」(中野ほか編, 2013)がある。

○伊方発電所の立地する四国に第四紀火山は分布しないが、海を隔てた九州や山口県に分布しており、地理的領域内(半径160km内)に42の第四紀火山が分布する。

- 調査文献
- 「日本の火山(第3版)」(中野ほか編, 2013)
  - 「日本の火山」(地質調査総合センター, 2014)
  - 「第四紀火山岩体・貫入岩体データベース」(西来ほか編, 2012)
  - 「日本の第四紀火山カタログ」(第四紀火山カタログ委員会編, 1999)
  - 「日本活火山総覧(第4版)」(気象庁編, 2013)
  - 「海域火山データベース」(海上保安庁海洋情報部, 2013)

第四紀火山岩類	
	岩屑 (第四紀)
	酸性火山岩類 (完新世-更新世後期)
	酸性火山岩類 (更新世中期)
	酸性火山岩類 (更新世前期)
	火砕岩 (完新世-更新世後期)
	火砕岩 (更新世中期)
	火砕岩 (更新世前期)
	塩基性火山岩類 (完新世-更新世後期)
	塩基性火山岩類 (更新世中期)
	塩基性火山岩類 (更新世前期)
	アルカリ火山岩類 (完新世-更新世後期)
	アルカリ火山岩類 (更新世中期)
	アルカリ火山岩類 (更新世前期)
	▲ 第四紀火山 (中野ほか編, 2013)



# 第四紀火山の抽出②

平成27年6月3日  
まとめ資料再掲

火山名	敷地からの距離 (km)	活動時期 (★:破局的噴火)			
		100万年前	10万年前	1万年前	現在
1 姫島	65				
2 両子山	67				
3 日出	69				
4 鹿鳴越火山群	76				
5 高崎山	78				
6 観海寺	81				
7 鶴見岳	85				
8 四熊ヶ岳	85				
9 大蔵山	87				
10 由布岳	89				
11 高平火山群	89				
12 徳山金峰山	89				
13 雨乞火山群	92				
14 庄内火山群	92				
15 千石岳	93				
16 立石火山群	95				
17 時山火山群	96				
18 人見岳	96				
19 カルト山火山群	98				
20 野稲火山群	100				
21 小松台火山群	102				
22 長者ヶ原	105				
23 盛太ヶ岳	106				

火山名	敷地からの距離 (km)	活動時期 (★:破局的噴火)			
		100万年前	10万年前	1万年前	現在
24 玖珠火山群	107				
25 猪牟田カルデラ	107				
26 九重山	108				
27 万年山火山群	113				
28 涌蓋火山群	113				
29 月出山岳	118				
30 青野山火山群	118				
31 萩岳	118				
32 杖立火山群	124				
33 阿蘇	33-1 根子岳	128			
	33-2 阿蘇カルデラ	130			
	33-3 阿蘇山	131			
	33-4 先阿蘇	141			
34 阿武火山群	130				
35 吉ノ本	133				
36 渡神岳	133				
37 下関火山群	144				
38 日向神火山群	146				
39 道伯・妙見	148				
40 大峰	148				
41 赤井	159				
42 船野山	160				

火山名、活動時期は中野ほか編(2013)による

## II. 1. 地理的領域(半径160kmの範囲)に分布する第四紀火山の抽出

42火山

## II. 2. 原子力発電所に影響を及ぼし得る火山の抽出

○完新世に活動を行った活火山

5火山

鶴見岳, 由布岳, 九重山, 阿蘇, 阿武火山群

○将来の活動可能性が否定できない火山

2火山

姫島, 高平火山群

○将来の活動可能性のない火山

35火山

## II. 3. 抽出された火山の火山活動に関する個別評価

○抽出された火山の活動性に関する個別評価

- ・阿蘇は運用期間中の噴火規模を検討し、現在の噴火ステージにおける既往最大規模を考慮
- ・阿蘇以外の火山は既往最大規模の噴火を考慮

○設計対応不可能な火山事象

火砕物密度流・溶岩流・岩屑なだれ, 地滑り及び斜面崩壊・新しい火口の開口・地殻変動

敷地への到達なし

## III. 1. 原子力発電所の安全性に影響を与える可能性のある火山事象の抽出

○発電所に影響を与える可能性のある火山事象  
降下火砕物

○発電所に影響を与える可能性のない火山事象

火山性土石流, 火山泥流及び洪水・火山から発生する飛来物(噴石)・火山ガス・大気現象・熱水系及び地下水の異常

- ・津波及び静振は「津波評価」において影響を確認(山体崩壊を考慮)
- ・火山性地震とこれに関連する事象は「地震動評価」において影響を確認(M7.1を考慮)

## III. 2. 地理的領域外の火山による広域火山灰の評価

○広域火山灰の評価

文献調査及び地質調査による厚い火山灰は九州のカルデラ火山を起源とする広域火山灰であり、発電所運用期間中に同規模の噴火の可能性は十分低く、降下火砕物が敷地に影響を及ぼす可能性は十分に小さいと評価

## III. 3. 地理的領域内の火山による降下火山灰の地質調査

○地理的領域内の火山による降下火山灰の文献調査

地理的領域内の火山による降下火山灰の等層厚線図として、九重第一軽石と草千里ヶ浜軽石が示されている

- ・九重第一軽石: 四国南西端の宿毛市で火山灰の報告あり
- ・草千里ヶ浜軽石: 四国における報告なし

○九重第一軽石に関する地質調査

- ・既存文献に示された通り、九重第一軽石の分布の長軸は四国南西端方向であり、敷地付近における降下厚さはほぼ0cmと評価される

## III. 4. 地理的領域内の火山による降下火山灰シミュレーション

約5万年前の九重第一軽石は当時の気象条件に応じて東南東方向へ火山灰が降下したが、同様の噴火が起こった時に現在の気象条件を考慮して敷地にどのような降灰が想定されるかを検討する。

ジェット気流がほぼ真西で安定する季節は敷地における降下厚さはほぼ0cmと評価される。ただし、同規模の噴火時に風向きによっては敷地において厚さ数cmの降下火山灰が想定され、さらに既存の知見よりも噴出量を大きく見積もると十数cmの降下火山灰が想定される。

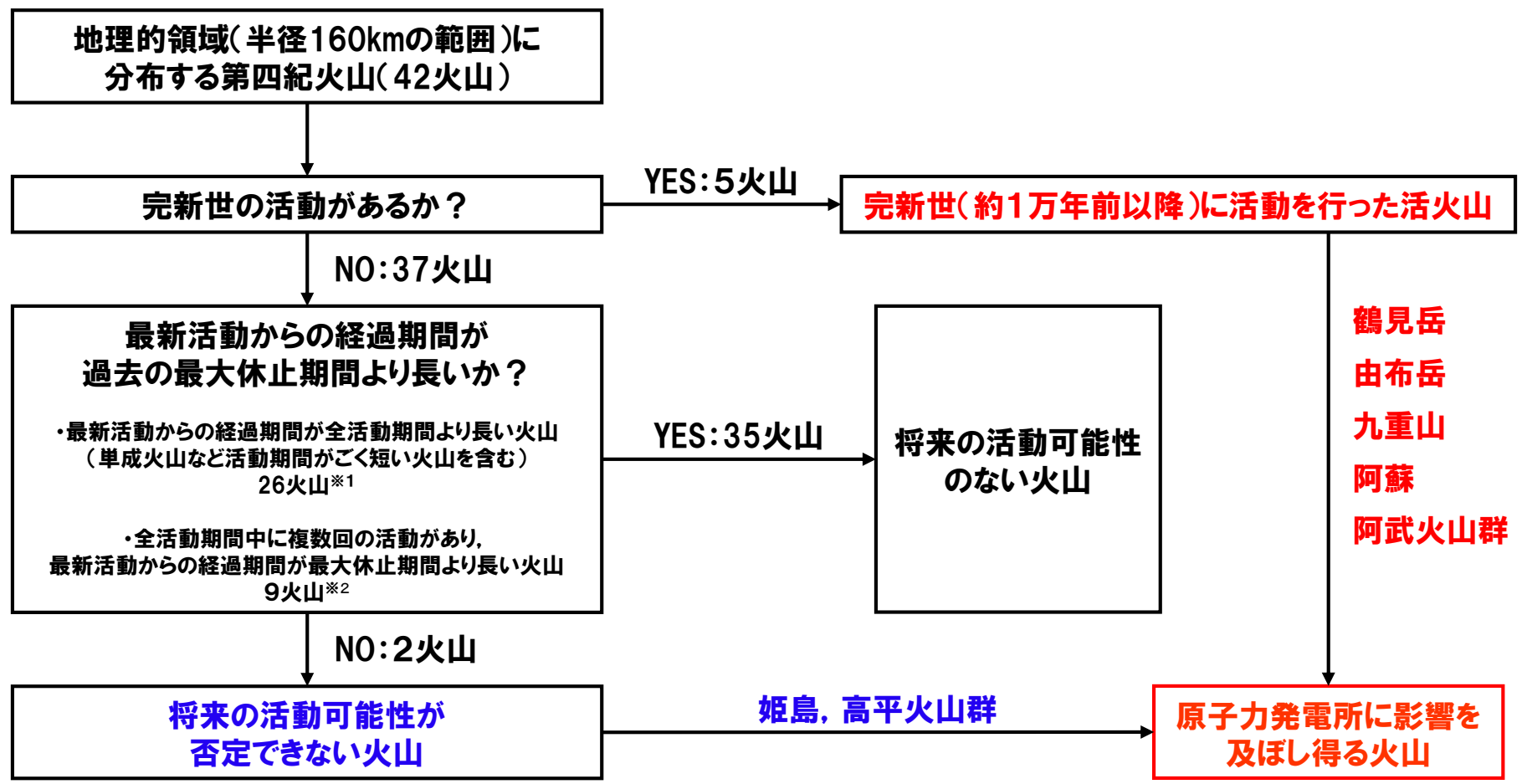
## III. 5. 設計で考慮する降下火砕物

原子力安全に対する信頼向上の観点から、既存の知見を上回る噴出量を考慮し、敷地において考慮すべき降下火砕物の厚さを保守的に15cmと評価する。また、地質調査結果及び文献調査結果に基づき、乾燥密度を0.5g/cm<sup>3</sup>、湿潤密度を1.5g/cm<sup>3</sup>、粒径を1mm以下主体と評価する。

## III. 6. 影響強化(まとめ)

# 原子力発電所に影響を及ぼし得る火山の抽出①

○審査ガイドを踏まえ、原子力発電所に影響を及ぼし得る火山を以下のとおり抽出する。



※1 両子山, 日出, 鹿鳴越火山群, 高崎山, 観海寺, 大蔵山, 雨乞火山群, 庄内火山群, 千石岳, 時山火山群, 人見岳, カルト山火山群, 小松台火山群, 玖珠火山群, 猪牟田カルデラ, 月出山岳, 萩岳, 杖立火山群, 吉ノ本, 渡神岳, 下関火山群, 日向神火山群, 道伯・妙見, 大峰, 赤井, 船野山

※2 四熊ヶ岳, 徳山金峰山, 立石火山群, 野稲火山群, 長者ヶ原, 盛太ヶ岳, 万年山火山群, 涌蓋火山群, 青野山火山群



# 原子力発電所に影響を及ぼし得る火山の抽出②

○敷地を中心とする半径160kmの範囲の第四紀火山(42火山)のうち、完新世に活動を行った**5火山(鶴見岳, 由布岳, 九重山, 阿蘇, 阿武火山群)**及び将来の活動可能性が否定できない**2火山(姫島, 高平火山群)**について、原子力発電所に影響を及ぼし得る火山として抽出した。残りの35火山はいずれも活動年代が古く、最新活動からの経過期間が過去の最大休止期間より長い等より、将来の火山活動可能性はないと評価した。

火山名	敷地からの距離 (km)	活動時期 (★:破局的噴火)				完新世の活動	将来の活動可能性	抽出結果
		100万年前	10万年前	1万年前	現在			
1 姫島	65					無	有	②
2 両子山	67					無	無	③
3 日出	69					無	無	③
4 鹿鳴越火山群	76					無	無	③
5 高崎山	78					無	無	③
6 観海寺	81					無	無	③
7 鶴見岳	85					有	有	①
8 四熊ヶ岳	85					無	無	④
9 大蔵山	87					無	無	③
10 由布岳	89					有	有	①
11 高平火山群	89					無	有	②
12 徳山金峰山	89					無	無	④
13 雨乞火山群	92					無	無	③
14 庄内火山群	92					無	無	③
15 千石岳	93					無	無	③
16 立石火山群	95					無	無	④
17 時山火山群	96					無	無	③
18 人見岳	96					無	無	③
19 カルト山火山群	98					無	無	③
20 野稲火山群	100					無	無	④
21 小松台火山群	102					無	無	③

火山名	敷地からの距離 (km)	活動時期 (★:破局的噴火)				完新世の活動	将来の活動可能性	抽出結果
		100万年前	10万年前	1万年前	現在			
22 長者ヶ原	105					無	無	④
23 盛太ヶ岳	106					無	無	④
24 玖珠火山群	107					無	無	③
25 猪牟田カルデラ	107					無	無	③
26 九重山	108					有	有	①
27 万年山火山群	113					無	無	④
28 涌蓋火山群	113					無	無	④
29 月出山岳	118					無	無	③
30 青野山火山群	118					無	無	④
31 萩岳	118					無	無	③
32 杖立火山群	124					無	無	③
33 阿蘇	130					有	有	①
34 阿武火山群	130					有	有	①
35 吉ノ本	133					無	無	③
36 渡神岳	133					無	無	③
37 下関火山群	144					無	無	③
38 日向神火山群	146					無	無	③
39 道伯・妙見	148					無	無	③
40 大峰	148					無	無	③
41 赤井	159					無	無	③
42 船野山	160					無	無	③

- ①完新世(約1万年前以降)に活動を行った活火山
- ②将来の活動可能性を否定できない火山
- ③最新活動からの経過期間が全活動期間より長い火山(単成火山など活動期間がごく短い火山を含む)
- ④全活動期間中に複数回の活動があり、最新活動からの経過期間が最大休止期間より長い火山

火山名、活動時期は中野ほか編(2013)、「日本の火山」(地質調査総合センター、2014)等による

## II. 1. 地理的領域(半径160kmの範囲)に分布する第四紀火山の抽出

42火山

## II. 2. 原子力発電所に影響を及ぼし得る火山の抽出

○完新世に活動を行った活火山

5火山

鶴見岳, 由布岳, 九重山, 阿蘇, 阿武火山群

○将来の活動可能性が否定できない火山

2火山

姫島, 高平火山群

○将来の活動可能性のない火山

35火山

## II. 3. 抽出された火山の火山活動に関する個別評価

○抽出された火山の活動性に関する個別評価

- ・阿蘇は運用期間中の噴火規模を検討し、現在の噴火ステージにおける既往最大規模を考慮
- ・阿蘇以外の火山は既往最大規模の噴火を考慮

○設計対応不可能な火山事象

火砕物密度流・溶岩流・岩屑なだれ、地滑り及び斜面崩壊・新しい火口の開口・地殻変動

敷地への到達なし

## III. 1. 原子力発電所の安全性に影響を与える可能性のある火山事象の抽出

○発電所に影響を与える可能性のある火山事象  
降下火砕物○発電所に影響を与える可能性のない火山事象  
火山性土石流、火山泥流及び洪水・火山から発生する飛来物(噴石)・火山ガス・大気現象・熱水系及び地下水の異常

- ・津波及び静振は「津波評価」において影響を確認(山体崩壊を考慮)
- ・火山性地震とこれに関連する事象は「地震動評価」において影響を確認(M7.1を考慮)

## III. 2. 地理的領域外の火山による広域火山灰の評価

○広域火山灰の評価

文献調査及び地質調査による厚い火山灰は九州のカルデラ火山を起源とする広域火山灰であり、発電所運用期間中に同規模の噴火の可能性は十分低く、降下火砕物が敷地に影響を及ぼす可能性は十分に小さいと評価

## III. 3. 地理的領域内の火山による降下火山灰の地質調査

○地理的領域内の火山による降下火山灰の文献調査

地理的領域内の火山による降下火山灰の等層厚線図として、九重第一軽石と草千里ヶ浜軽石が示されている

- ・九重第一軽石: 四国南西端の宿毛市で火山灰の報告あり
- ・草千里ヶ浜軽石: 四国における報告なし

○九重第一軽石に関する地質調査

・既存文献に示された通り、九重第一軽石の分布の長軸は四国南西端方向であり、敷地付近における降下厚さはほぼ0cmと評価される

## III. 4. 地理的領域内の火山による降下火山灰シミュレーション

約5万年前の九重第一軽石は当時の気象条件に応じて東南東方向へ火山灰が降下したが、同様の噴火が起こった時に現在の気象条件を考慮して敷地にどのような降灰が想定されるかを検討する。

ジェット気流がほぼ真西で安定する季節は敷地における降下厚さはほぼ0cmと評価される。ただし、同規模の噴火時に風向きによっては敷地において厚さ数cmの降下火山灰が想定され、さらに既存の知見よりも噴出量を大きく見積もると十数cmの降下火山灰が想定される。

## III. 5. 設計で考慮する降下火砕物

原子力安全に対する信頼向上の観点から、既存の知見を上回る噴出量を考慮し、敷地において考慮すべき降下火砕物の厚さを保守的に15cmと評価する。また、地質調査結果及び文献調査結果に基づき、乾燥密度を0.5g/cm<sup>3</sup>、湿潤密度を1.5g/cm<sup>3</sup>、粒径を1mm以下主体と評価する。

## III. 6. 影響強化(まとめ)



# 抽出された火山の火山活動に関する個別評価の方針

- 原子力発電所に影響を及ぼし得る火山のうち、過去に巨大噴火(大型のカルデラを形成する噴火)を発生させた阿蘇については、運用期間中の噴火規模を検討する。阿蘇における運用期間中の噴火規模については、①噴火履歴の特徴、②地下構造から、現在のマグマ溜まりが巨大噴火直前の状態にあるかを検討し、現在の噴火ステージにおける既往最大規模を考慮した上で、設計対応不可能な火山事象の検討を行う。
- 阿蘇以外の火山については、敷地から海を隔てた九州や山口県に位置するため問題となるものではないと考えられるものの、既往最大規模の噴火を考慮した上で設計対応不可能な火山事象が到達しないことを確認する。

表1 原子力発電所に影響を与える可能性のある火山事象及び位置関係<sup>※1</sup>

火山事象	潜在的に影響を及ぼす特性	原子力発電所との位置関係
1. 降下火砕物	静的な物理的負荷、気中及び水中の研磨性及び腐食性粒子	注2
② 火砕物密度流：火砕流、サージ及びプラスト	動的な物理的負荷、大気の過圧、飛来物の衝撃、300℃超の温度、研磨性粒子、毒性ガス	160km
③ 溶岩流	動的な物理的負荷、洪水及び水のせき止め、700℃超の温度	50km
④ 岩屑なだれ、地滑り及び斜面崩壊	動的な物理的負荷、大気の過圧、飛来物の衝撃、水のせき止め及び洪水	50km
5. 火山性土石流、火山泥流及び洪水	動的な物理的負荷、水のせき止め及び洪水、水中の浮遊粒子	120km
6. 火山から発生する飛来物（噴石）	粒子の衝突、静的な物理的負荷、水中の研磨性粒子	10km
7. 火山ガス	毒性及び腐食性ガス、酸性雨、ガスの充満した湖、水の汚染	160km
⑧ 新しい火口の開口	動的な物理的負荷、地盤変動、火山性地震	注3
9. 津波及び静振	水の氾濫	注4
10. 大気現象	動的過圧、落雷、ダウンバースト風	注4
⑪ 地殻変動	地盤変位、沈下又は隆起、傾斜、地滑り	注4
12. 火山性地震とこれに関連する事象	継続的微小動、多重衝撃	注4
13. 熱水系及び地下水の異常	熱水、腐食性の水、水の汚染、氾濫又は湧昇、熱水変質、地滑り、カルスト及びサーモカルストの変異、水圧の急変	注4

(参考資料：IAEA SSG-21 及び JEAG4625)

注1：噴出中心と原子力発電所との距離が、表中の位置関係に記載の距離より短ければ、火山事象により原子力発電所が影響を受ける可能性があるものとする。

注2：降下火砕物に関しては、原子力発電所の敷地及び敷地付近の調査から求められる単位面積あたりの質量と同等の火山灰等が降下するものとする。

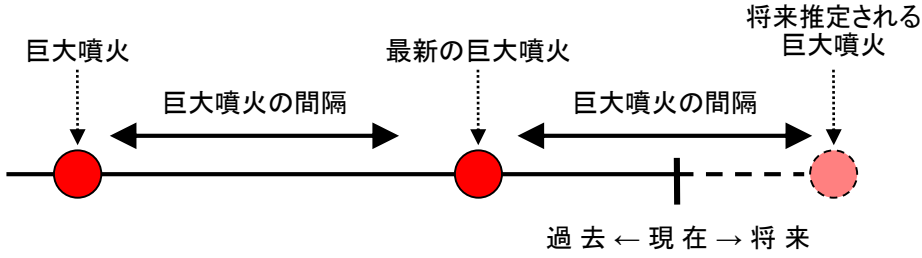
注3：新火口の開口については、原子力発電所の運用期間中に、新火口の開口の可能性を検討する。

注4：火山活動によるこれらの事象は、原子力発電所との位置関係によらず、個々に検討を行う。

# 阿蘇の火山活動に関する個別評価① <評価方法>

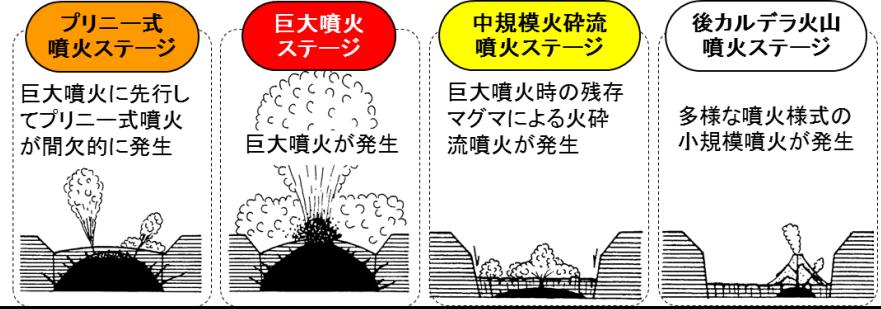
## ①-1 噴火履歴の特徴(活動間隔)

・巨大噴火の活動間隔と最新の巨大噴火からの経過時間との比較により、巨大噴火のマグマ溜まりを形成するのに必要な時間が経過しているかを検討する。



## ①-2 噴火履歴の特徴(噴火ステージ)

・Nagaoka(1988)による噴火ステージの区分を参考に、各カルデラにおける現在の噴火ステージを検討する。

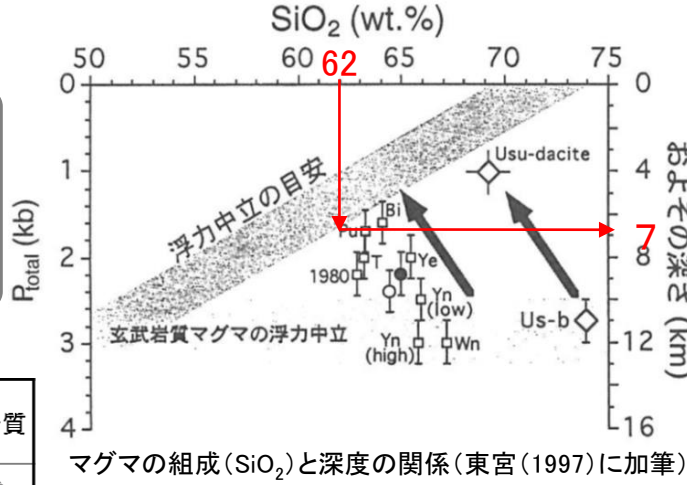


## ②-1 地下構造(マグマ溜まりの状況)

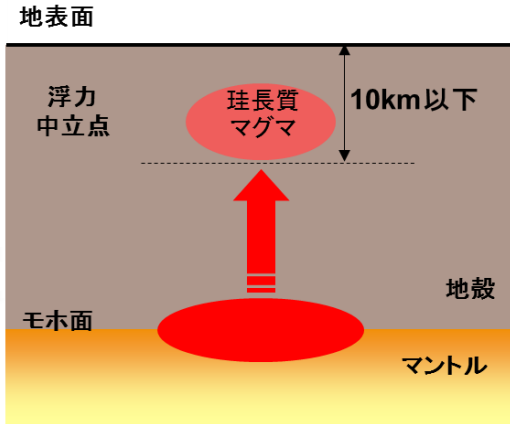
・巨大噴火を発生させる珪長質マグマは、苦鉄質マグマに比べて密度が小さく、地殻の密度と釣り合う深さは約10km以浅であると考えられていること等から、約10km以浅のマグマ溜まりの有無等を検討する。

マグマのSiO<sub>2</sub>と密度(兼岡(1997)を基に作成)

マグマの種類	玄武岩質	安山岩質	デイサイト質	流紋岩質
マグマの性質	← 苦鉄質		珪長質 →	
SiO <sub>2</sub> (wt. %)	45~53.5	53.5~62	62~70	70以上
密度 (kg/m <sup>3</sup> )	2700	2400	2300	2200



地殻の密度とマグマの密度が釣り合う深さ(浮力中立点)は、珪長質マグマ(デイサイト質~流紋岩質)であれば、7km以浅である。

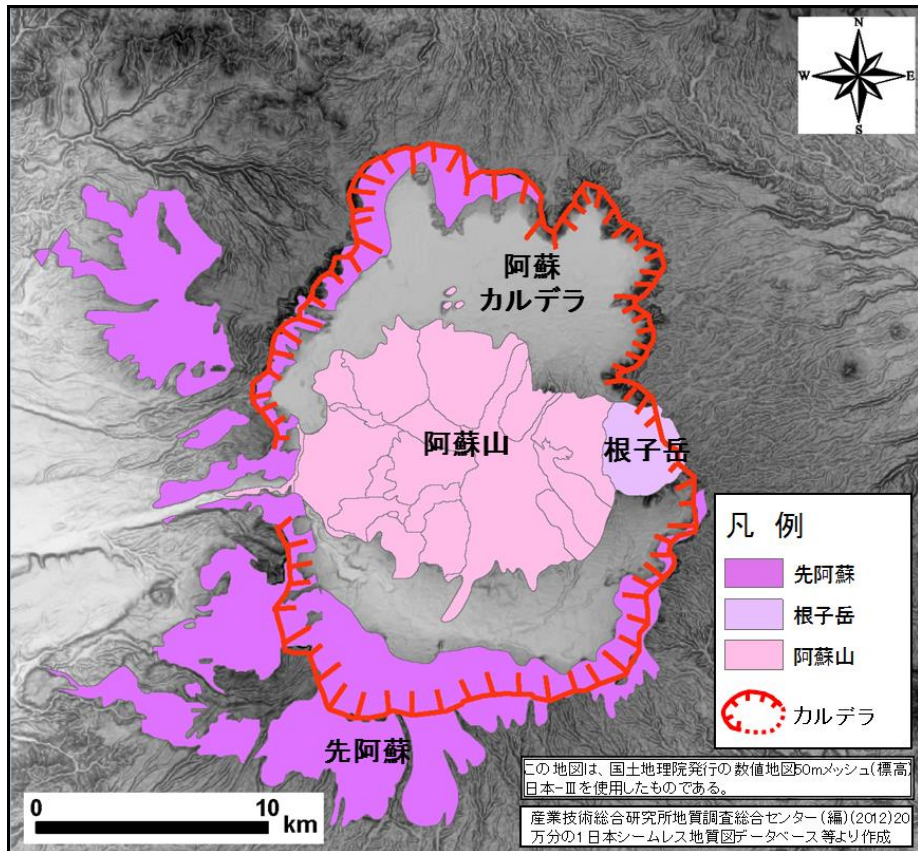


大規模なマグマ溜まりのイメージ



# 阿蘇の火山活動に関する個別評価②<概要>

○阿蘇(根子岳, 阿蘇カルデラ, 阿蘇山, 先阿蘇)における巨大噴火については、約27万年前～約25万年前に阿蘇1噴火が、約14万年前に阿蘇2噴火が、約12万年前に阿蘇3噴火が、約9.0万年前～約8.5万年前に阿蘇4噴火が認められ、最大規模の阿蘇4噴火の際に噴出した阿蘇4火山灰は日本全域に、阿蘇4火砕流堆積物は九州北部及び中部並びに山口県南部の広い範囲に分布する。



阿蘇カルデラ周辺の火山



阿蘇4火山灰の分布(町田・新井(2011)に加筆)

# 阿蘇の火山活動に関する個別評価③ <阿蘇4火砕流の評価①>

○日本第四紀学会編(1987)及び町田・新井(2011)は阿蘇4火砕流堆積物の到達範囲を推定・図示しており、敷地の位置する佐田岬半島まで到達した可能性を示唆している。ただし、その分布は方向によって偏りがあり、佐田岬半島において阿蘇4火砕流堆積物を確認したとの報告はない。

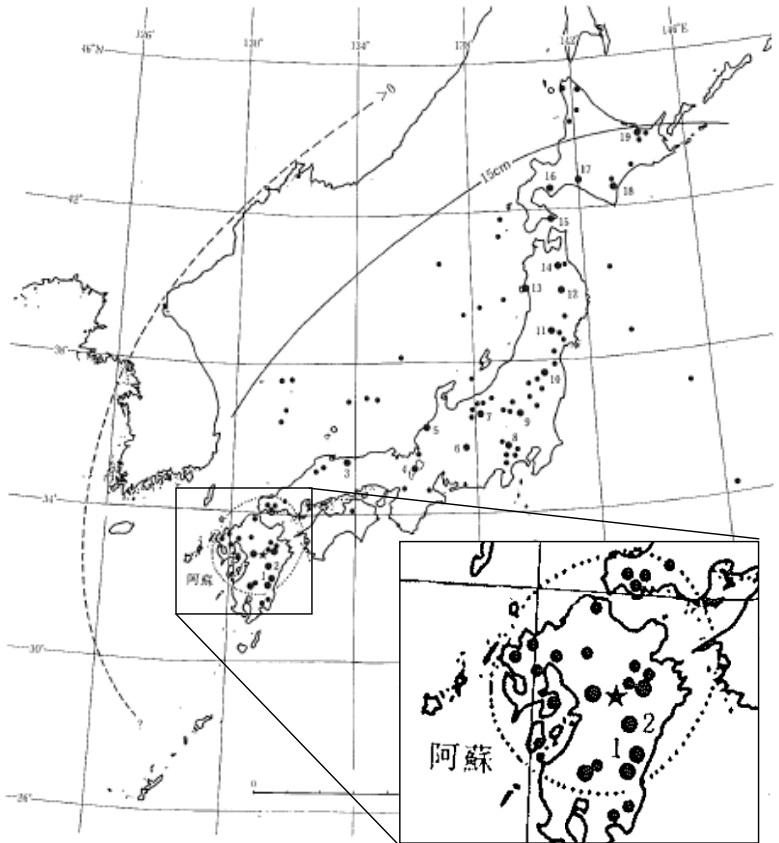


図 2.1-11 阿蘇4火山灰 (Aso-4) の等厚線図と主な産出地点。  
点線内は阿蘇4火砕流堆積物 [Aso-4 (pf)] の分布範囲を示す。  
模式地: 1. 国富町川上, 2. 竹田市・萩町一帯, 3. 関金町大山地, 4. 琵琶湖高島沖, 5. 加賀市黒崎, 6. 木曾福島町, 7. 長野市高野, 8. 上野原町鶴島, 9. 新里村高泉, 10. 福島市佐原町, 11. 鴨子町鬼首北端, 12. 玉山村新田, 13. 男鹿市安田海岸, 14. 五戸町西内, 15. 尻岸町女郎川, 16. 伊達市鶴山, 17. 厚真町登舞, 18. 広尾町ピラオトリ, 19. 鶴志市森崎湖西岸。

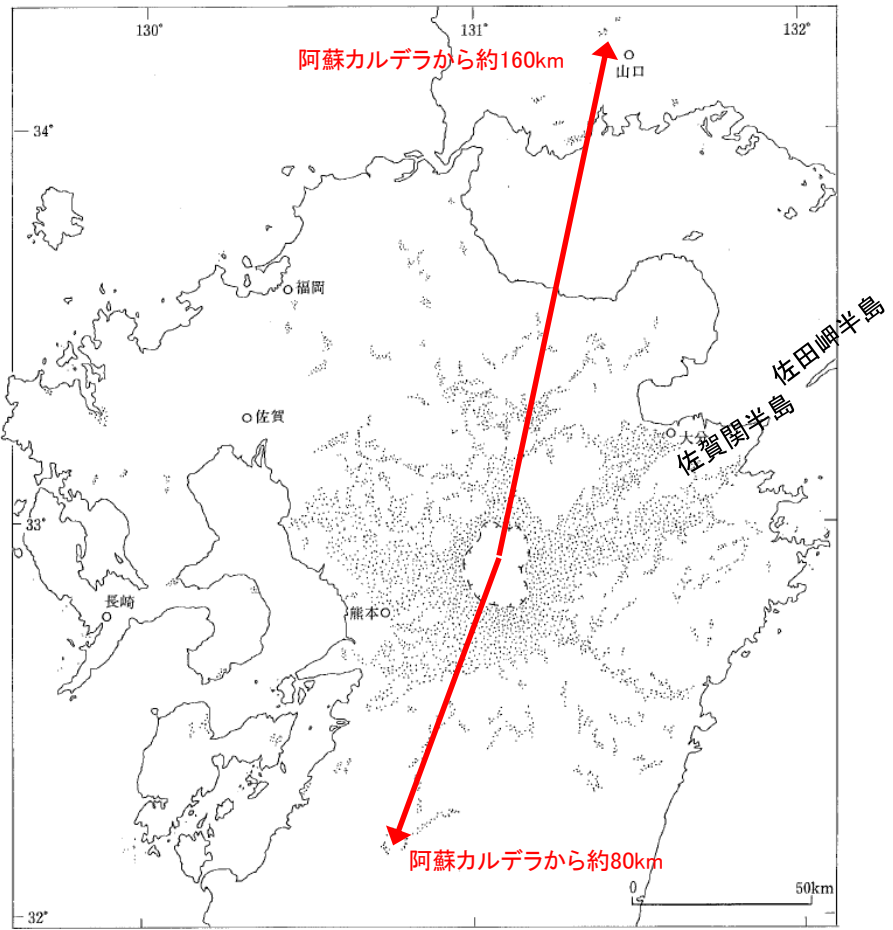
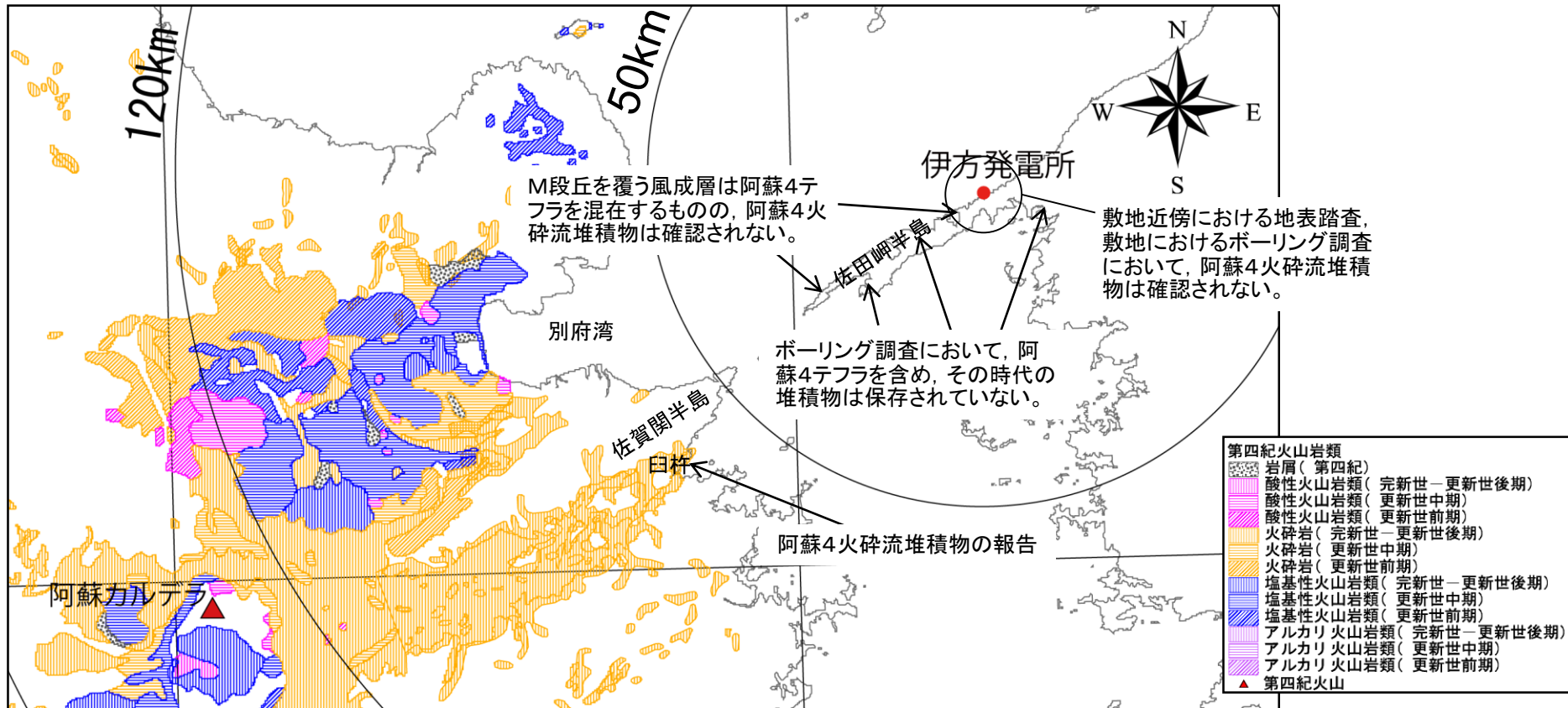


図 2.1-10 阿蘇4火砕流堆積物 [Aso-4 (pf)] の分布。[Matumoto (1948), Watanabe (1978)]

「新編 火山灰アトラス」(町田・新井, 2011)から抜粋・一部加筆

# 阿蘇の火山活動に関する個別評価④ <阿蘇4火砕流の評価②>

- 敷地周辺におけるM段丘の地表踏査，敷地周辺の堆積条件がよい低地におけるボーリング調査，敷地近傍における地表踏査，敷地におけるボーリング調査において，阿蘇4火砕流堆積物は確認されない。
- 敷地と阿蘇の距離は約130kmであり，その間には佐賀関半島や佐田岬半島などの地形的障害も認められるので，阿蘇4火砕流は敷地まで達していないものと考えられる。

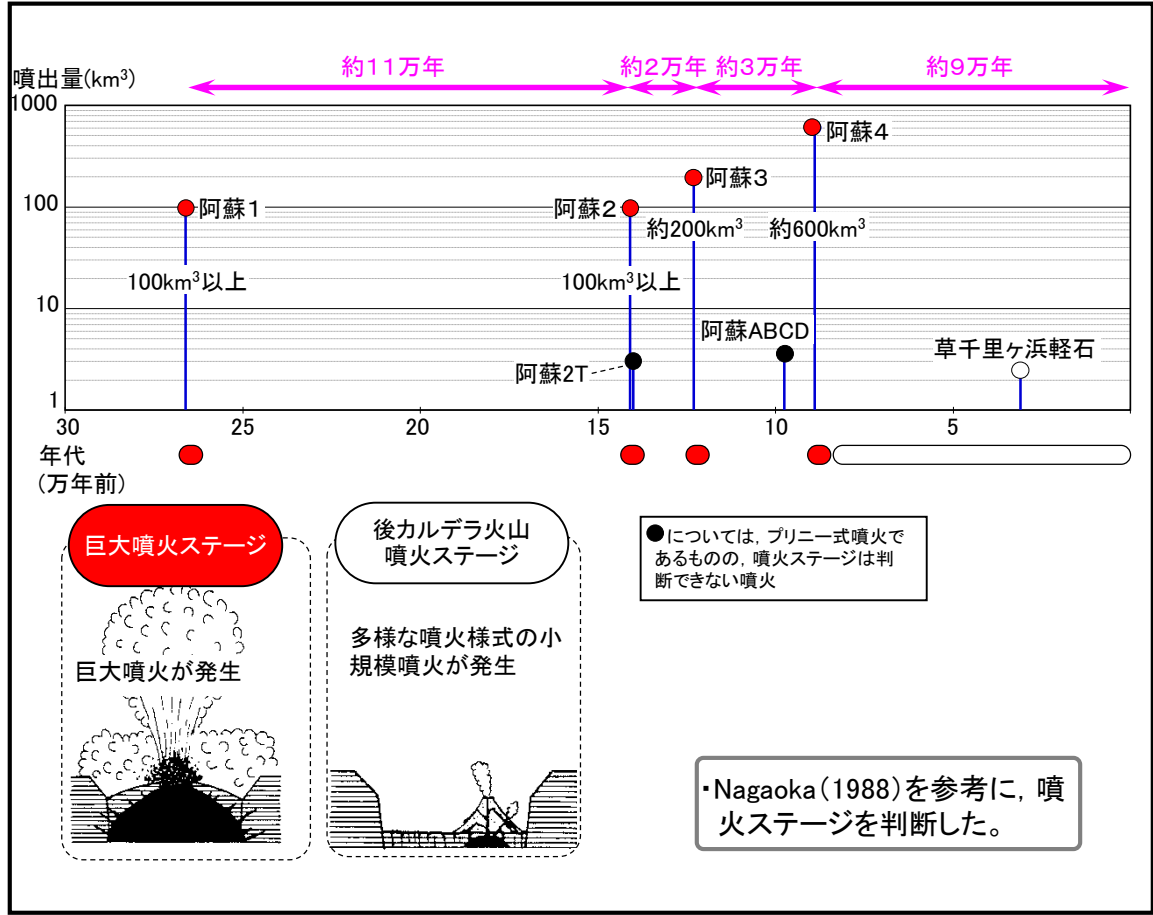




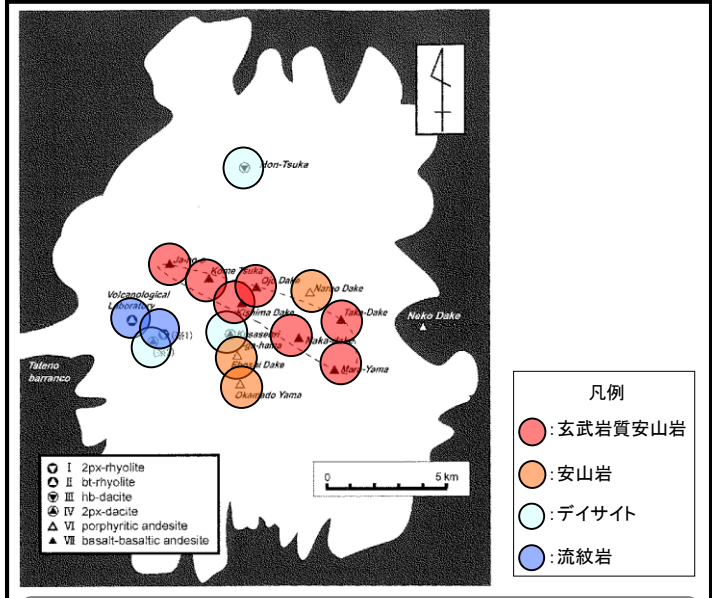
# 阿蘇の火山活動に関する個別評価⑤ <噴火履歴及び地下構造による検討>

○阿蘇カルデラにおける巨大噴火の最短の活動間隔(約2万年)に対して最新の巨大噴火から約9万年が経過している。阿蘇カルデラにおける現在の噴火活動は、最新の巨大噴火以降、阿蘇山において草千里ヶ浜軽石等の多様な噴火様式の小規模噴火が発生していることから、阿蘇山における後カルデラ火山噴火ステージと考えられる。

○苦鉄質火山噴出物及び珪長質火山噴出物の給源火口の分布から、大規模な珪長質マグマ溜まりはないと考えられる。



阿蘇カルデラの噴火履歴

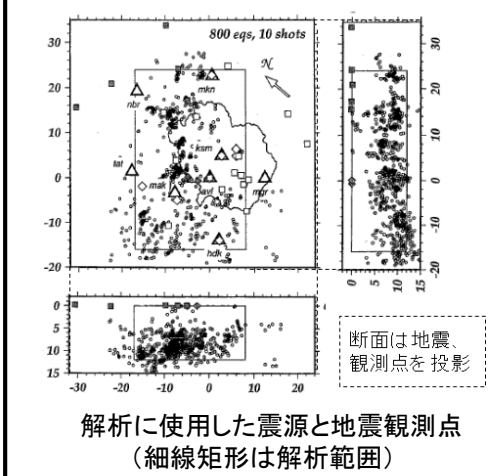
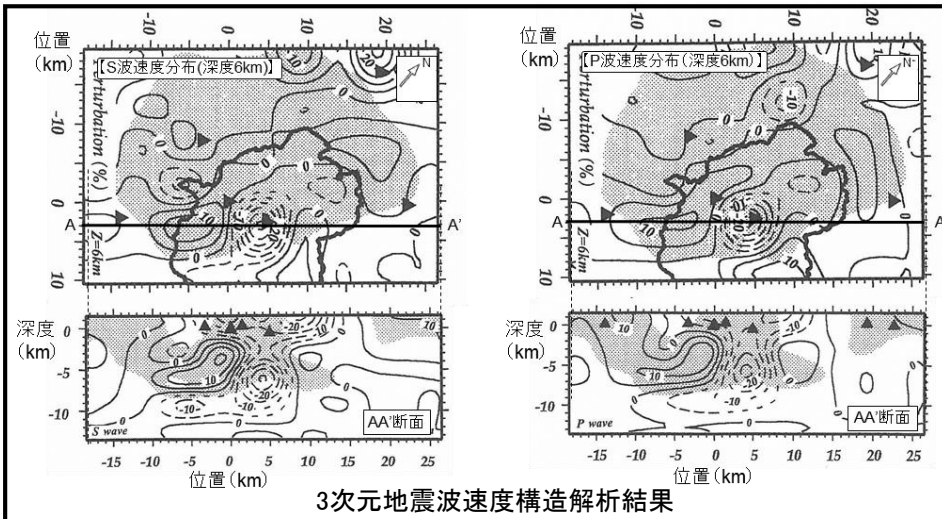


・三好ほか(2005)によると、全岩化学組成等を基に、マグマ供給系について考察を行った結果、苦鉄質火山噴出物の供給火口がカルデラ中央部に分布し、その周囲により珪長質な火山噴出物の給源火口が分布する傾向から、大規模な単一のマグマ溜まりは後カルデラ形成期には存在しなくなったと考えられている。

岩石学情報による大規模マグマ溜まりの存否 (三好ほか, 2005)

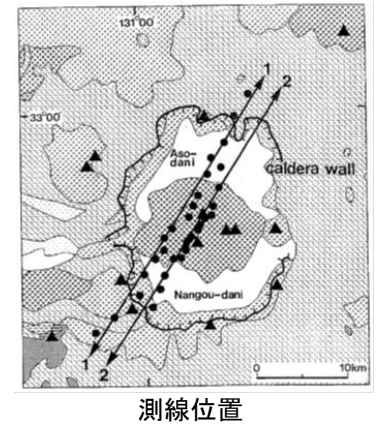
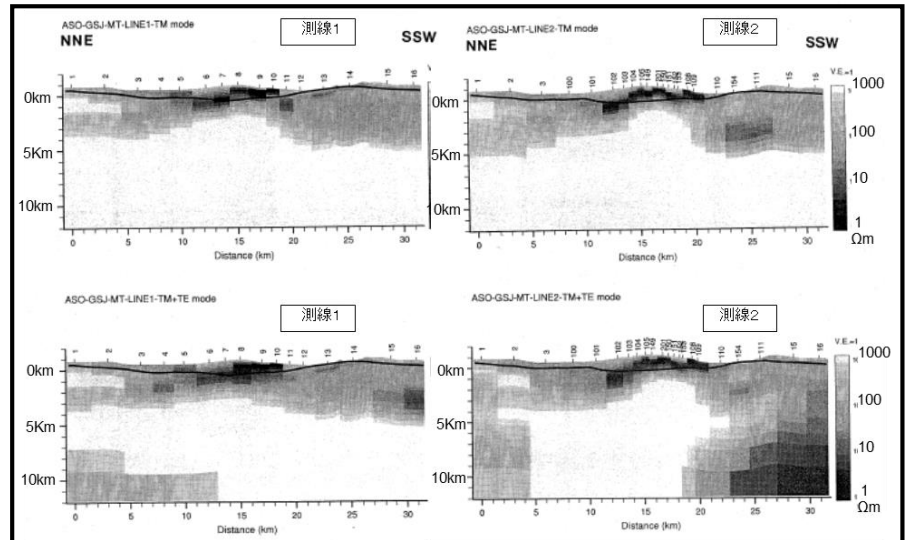
# 阿蘇の火山活動に関する個別評価⑥ <地下構造による検討>

- 地震波トモグラフィ解析結果において、カルデラ中央部に小規模な低速度領域は認められるものの、カルデラ中央部に苦鉄質火山噴出物の給源火口が分布することから、大規模な珪長質マグマ溜まりはないと考えられる。
- 比抵抗構造解析結果において、阿蘇カルデラの地下10km以浅に低比抵抗域は認められないことから、地下10km以浅に、大規模なマグマ溜まりはないと考えられる。



観測点: 8(△)  
地震数: 800(○)  
人工地震数: 10(◆及び■)  
人工地震の観測点(◇及び□)  
格子点間隔: 水平5km  
深さ 3km  
■ : 精度の良い領域 (DWS ≥ 1500)

・Sudo and Kong (2001)によると、阿蘇カルデラを対象とした地震波トモグラフィを実施した結果、中央火口丘群直下に深さ約6kmに低速度領域が認められるとしている。



※ 下段はTEモード(測線と直交する方向になるデータ)も使用した解析結果で、一般に垂直的な低比抵抗構造に対する分解能が高く、深部構造に対する感度が高いため、測線の側方に深部比抵抗構造が実際にある可能性と低周波のインダクションベクトルが示す広域的な構造の影響が虚像として現れた可能性がある。

・高倉ほか(2000)によると、阿蘇カルデラの地下10km以浅には、一般にマグマあるいは溶融体と考えられる低比抵抗体は認められないとしている。

## 阿蘇の火山活動に関する個別評価⑦<まとめ>

- 阿蘇については、現在のマグマ溜まりは巨大噴火直前の状態ではなく、今後も、現在の噴火ステージが継続するものと判断される。
- 運用期間中の噴火規模については、後カルデラ火山噴火ステージである阿蘇山での既往最大噴火規模(約2km<sup>3</sup>)を考慮する。阿蘇山起源の火砕流堆積物の分布は阿蘇カルデラ内に限られる(小野・渡辺, 1985)。

### 【噴火履歴による検討結果】

- ・ 巨大噴火の最短の活動間隔(約2万年)は、最新の巨大噴火からの経過時間(約9万年)に比べて短いため、巨大噴火のマグマ溜まりを形成している可能性、巨大噴火を発生させる供給系ではなくなっている可能性等が考えられる。
- ・ 現在の活動は、阿蘇における後カルデラ火山噴火ステージの活動が継続しているものと考えられる。

### 【地下構造による検討結果】

- ・ 岩石学的情報及び地球物理学的情報から、地下約10km以浅に、大規模な珪長質マグマ溜まりはないと考えられる。

# 抽出された火山の火山活動に関する個別評価(まとめ)

○設計対応不可能な火山事象(火砕物密度流・溶岩流・岩屑なだれ, 地滑り及び斜面崩壊・新しい火口の開口・地殻変動)が発電所に影響を及ぼす可能性はないと評価される。

原子力発電所に影響を及ぼし得る火山	敷地からの距離	火砕物密度流(160km以内)		溶岩流(50km以内)	岩屑なだれ, 地滑り及び斜面崩壊(50km以内)	新しい火口の開口	地殻変動
			参考文献・データ				
鶴見岳※1	85km	○	大規模火砕流は認められず, 発電所に影響を及ぼす可能性はない	町田・新井(2011) 星住ほか(1988)	調査対象外	敷地は山口県から別府湾に至る火山フロントから十分な離隔があり, 発電所運用期間中に影響を及ぼす可能性はない	敷地は山口県から別府湾に至る火山フロントから十分な離隔があり, 発電所運用期間中に影響を及ぼす可能性はない
高平火山群	89km	○	大規模火砕流は認められず, 発電所に影響を及ぼす可能性はない	町田・新井(2011)			
由布岳	89km	○	大規模火砕流は認められず, 発電所に影響を及ぼす可能性はない	町田・新井(2011)			
九重山	108km	○	火砕流堆積物の分布は九州内陸部に限られ, 発電所に影響を及ぼす可能性はない	鎌田(1997)			
阿蘇	130km	○	阿蘇山起源の火砕流堆積物の分布は阿蘇カルデラ内に限られ, 阿蘇4火砕流も敷地まで達しておらず, 発電所に影響を及ぼす可能性はない	町田・新井(2011) 小野・渡辺(1985) 地質調査結果			
阿武火山群	130km	○	大規模火砕流は認められず, 発電所に影響を及ぼす可能性はない	町田・新井(2011)			
姫島※2	65km	○	大規模火砕流は認められず, 発電所に影響を及ぼす可能性はない	町田・新井(2011)			

※1 高平火山群を包含

※2 姫島は発電所運用期間中に噴火しないと評価

○: 発電所に影響を及ぼす可能性はない

×: 発電所に影響を及ぼす可能性がある



- 
- I. 火山影響評価の流れ
  - II. 立地評価
  - III. 影響評価
  - IV. まとめ

## II. 1. 地理的領域(半径160kmの範囲)に分布する第四紀火山の抽出

42火山

## II. 2. 原子力発電所に影響を及ぼし得る火山の抽出

○完新世に活動を行った活火山

5火山

鶴見岳, 由布岳, 九重山, 阿蘇, 阿武火山群

○将来の活動可能性が否定できない火山

2火山

姫島, 高平火山群

○将来の活動可能性のない火山

35火山

## II. 3. 抽出された火山の火山活動に関する個別評価

○抽出された火山の活動性に関する個別評価

- ・阿蘇は運用期間中の噴火規模を検討し, 現在の噴火ステージにおける既往最大規模を考慮
- ・阿蘇以外の火山は既往最大規模の噴火を考慮

○設計対応不可能な火山事象

火砕物密度流・溶岩流・岩屑なだれ, 地滑り及び斜面崩壊・新しい火口の開口・地殻変動

敷地への到達なし

## III. 1. 原子力発電所の安全性に影響を与える可能性のある火山事象の抽出

○発電所に影響を与える可能性のある火山事象  
降下火砕物○発電所に影響を与える可能性のない火山事象  
火山性土石流, 火山泥流及び洪水・火山から発生する飛来物(噴石)・火山ガス・大気現象・熱水系及び地下水の異常

- ・津波及び静振は「津波評価」において影響を確認(山体崩壊を考慮)
- ・火山性地震とこれに関連する事象は「地震動評価」において影響を確認(M7.1を考慮)

## III. 2. 地理的領域外の火山による広域火山灰の評価

○広域火山灰の評価

文献調査及び地質調査による厚い火山灰は九州のカルデラ火山を起源とする広域火山灰であり, 発電所運用期間中に同規模の噴火の可能性は十分低く, 降下火砕物が敷地に影響を及ぼす可能性は十分に小さいと評価

## III. 3. 地理的領域内の火山による降下火山灰の地質調査

○地理的領域内の火山による降下火山灰の文献調査

地理的領域内の火山による降下火山灰の等層厚線図として, 九重第一軽石と草千里ヶ浜軽石が示されている

- ・九重第一軽石: 四国南西端の宿毛市で火山灰の報告あり
- ・草千里ヶ浜軽石: 四国における報告なし

○九重第一軽石に関する地質調査

・既存文献に示された通り, 九重第一軽石の分布の長軸は四国南西端方向であり, 敷地付近における降下厚さはほぼ0cmと評価される

## III. 4. 地理的領域内の火山による降下火山灰シミュレーション

約5万年前の九重第一軽石は当時の気象条件に応じて東南東方向へ火山灰が降下したが, 同様の噴火が起こった時に現在の気象条件を考慮して敷地にどのような降灰が想定されるかを検討する。

ジェット気流がほぼ真西で安定する季節は敷地における降下厚さはほぼ0cmと評価される。ただし, 同規模の噴火時に風向きによっては敷地において厚さ数cmの降下火山灰が想定され, さらに既存の知見よりも噴出量を大きく見積もると十数cmの降下火山灰が想定される。

## III. 5. 設計で考慮する降下火砕物

原子力安全に対する信頼向上の観点から, 既存の知見を上回る噴出量を考慮し, 敷地において考慮すべき降下火砕物の厚さを保守的に15cmと評価する。また, 地質調査結果及び文献調査結果に基づき, 乾燥密度を0.5g/cm<sup>3</sup>, 湿潤密度を1.5g/cm<sup>3</sup>, 粒径を1mm以下主体と評価する。

## III. 6. 影響強化(まとめ)

## 原子力発電所の安全性に影響を与える可能性のある火山事象の抽出

○伊方発電所の安全性に影響を与える可能性のある火山事象として、1. 降下火砕物が抽出される。なお、9. 津波及び静振、12. 火山性地震とこれに関連する事象については、それぞれ「津波評価」及び「地震動評価」において敷地への影響を確認する。

火山事象	検討対象火山	影響の有無	評価方針
1. 降下火砕物	160km内外の火山	有	地質調査及びシミュレーションによる
2. 火砕物密度流	なし(160km以内)	無	立地評価にて評価済み
3. 溶岩流	なし(50km以内)	無	立地評価にて評価済み
4. 岩屑なだれ, 地滑り及び斜面崩壊	なし(50km以内)	無	立地評価にて評価済み
5. 火山性土石流, 火山泥流及び洪水	3火山(120km以内)	無	土石流は海を隔てた四国に達しない
6. 火山から発生する飛来物(噴石)	なし(10km以内)	無	—
7. 火山ガス	5火山(160km以内)	無	火山ガスが滞留する地形条件でない
8. 新しい火口の開口	なし(火山フロントと離隔)	無	立地評価にて評価済み
9. 津波及び静振	鶴見岳	無	「津波評価」において影響を確認(山体崩壊を考慮)
10. 大気現象	5火山	無	火山との離隔を確認
11. 地殻変動	なし(火山フロントと離隔)	無	立地評価にて評価済み
12. 火山性地震とこれに関連する事象	5火山	無	「地震動評価」において影響を確認(M7.1を考慮)
13. 熱水系及び地下水の以上	5火山	無	火山フロントとの離隔を確認

次頁

# その他の火山事象の影響評価

○その他の火山事象(5. 火山性土石流, 火山泥流及び洪水, 6. 火山から発生する飛来物(噴石), 7. 火山ガス, 10. 大気現象, 11. 熱水系及び地下水の異常)について, 発電所に影響を及ぼす可能性はないと評価される。

原子力発電所に影響を及ぼし得る火山※1	敷地からの距離	5. 火山性土石流, 火山泥流及び洪水 (120km以内)	6. 火山から発生する飛来物(噴石) (10km以内)	7. 火山ガス (160km以内)	10. 大気現象	13. 熱水系及び地下水の異常
鶴見岳※2	85km	○敷地から80km以遠で, 敷地と海を隔てた九州に位置していることから, 四国への到達は考えられない。したがって, 火山土石流による影響はないと評価される。  調査対象外		○敷地から80km以遠の遠方に位置するとともに, 敷地は沿岸部で瀬戸内海に向かって突き出した小半島に位置し, 火山ガスが滞留するような地形ではない。したがって, 火山ガスによる影響はないと評価される。	○敷地から80km以遠の遠方に位置していることから, 空振による超過圧力等の影響は考えられない。したがって, 大気現象による影響はないと評価される。	○敷地は山口県から別府湾に至る火山フロントと十分な離隔がある。また, 敷地における深部ボーリング調査によると, 深度2,000mにおける地温は約73℃, 地温勾配は2.8℃/100mと低く, 敷地付近の地質に過去に顕著な熱水活動を被った痕跡も認められない。したがって, 熱水系による影響はないと評価される。
由布岳	89km					
九重山	108km					
阿蘇	130km					
阿武火山群	130km					

※1 姫島は発電所運用期間中に噴火しないと評価

※2 高平火山群を包含

○: 発電所に影響を及ぼす可能性はない

×: 発電所に影響を及ぼす可能性がある

## II. 1. 地理的領域(半径160kmの範囲)に分布する第四紀火山の抽出

42火山

## II. 2. 原子力発電所に影響を及ぼし得る火山の抽出

○完新世に活動を行った活火山

5火山

鶴見岳, 由布岳, 九重山, 阿蘇, 阿武火山群

○将来の活動可能性が否定できない火山

2火山

姫島, 高平火山群

○将来の活動可能性のない火山

35火山

## II. 3. 抽出された火山の火山活動に関する個別評価

○抽出された火山の活動性に関する個別評価

- ・阿蘇は運用期間中の噴火規模を検討し, 現在の噴火ステージにおける既往最大規模を考慮
- ・阿蘇以外の火山は既往最大規模の噴火を考慮

○設計対応不可能な火山事象

火砕物密度流・溶岩流・岩屑なだれ, 地滑り及び斜面崩壊・新しい火口の開口・地殻変動

敷地への到達なし

## III. 1. 原子力発電所の安全性に影響を与える可能性のある火山事象の抽出

○発電所に影響を与える可能性のある火山事象  
降下火砕物

○発電所に影響を与える可能性のない火山事象

火山性土石流, 火山泥流及び洪水・火山から発生する飛来物(噴石)・火山ガス・大気現象・熱水系及び地下水の異常

- ・津波及び静振は「津波評価」において影響を確認(山体崩壊を考慮)
- ・火山性地震とこれに関連する事象は「地震動評価」において影響を確認(M7.1を考慮)

## III. 2. 地理的領域外の火山による広域火山灰の評価

○広域火山灰の評価

文献調査及び地質調査による厚い火山灰は九州のカルデラ火山を起源とする広域火山灰であり, 発電所運用期間中に同規模の噴火の可能性は十分低く, 降下火砕物が敷地に影響を及ぼす可能性は十分に小さいと評価

## III. 3. 地理的領域内の火山による降下火山灰の地質調査

○地理的領域内の火山による降下火山灰の文献調査

地理的領域内の火山による降下火山灰の等層厚線図として, 九重第一軽石と草千里ヶ浜軽石が示されている

- ・九重第一軽石: 四国南西端の宿毛市で火山灰の報告あり
- ・草千里ヶ浜軽石: 四国における報告なし

○九重第一軽石に関する地質調査

- ・既存文献に示された通り, 九重第一軽石の分布の長軸は四国南西端方向であり, 敷地付近における降下厚さはほぼ0cmと評価される

## III. 4. 地理的領域内の火山による降下火山灰シミュレーション

約5万年前の九重第一軽石は当時の気象条件に応じて東南東方向へ火山灰が降下したが, 同様の噴火が起こった時に現在の気象条件を考慮して敷地にどのような降灰が想定されるかを検討する。

ジェット気流がほぼ真西で安定する季節は敷地における降下厚さはほぼ0cmと評価される。ただし, 同規模の噴火時に風向きによっては敷地において厚さ数cmの降下火山灰が想定され, さらに既存の知見よりも噴出量を大きく見積もると十数cmの降下火山灰が想定される。

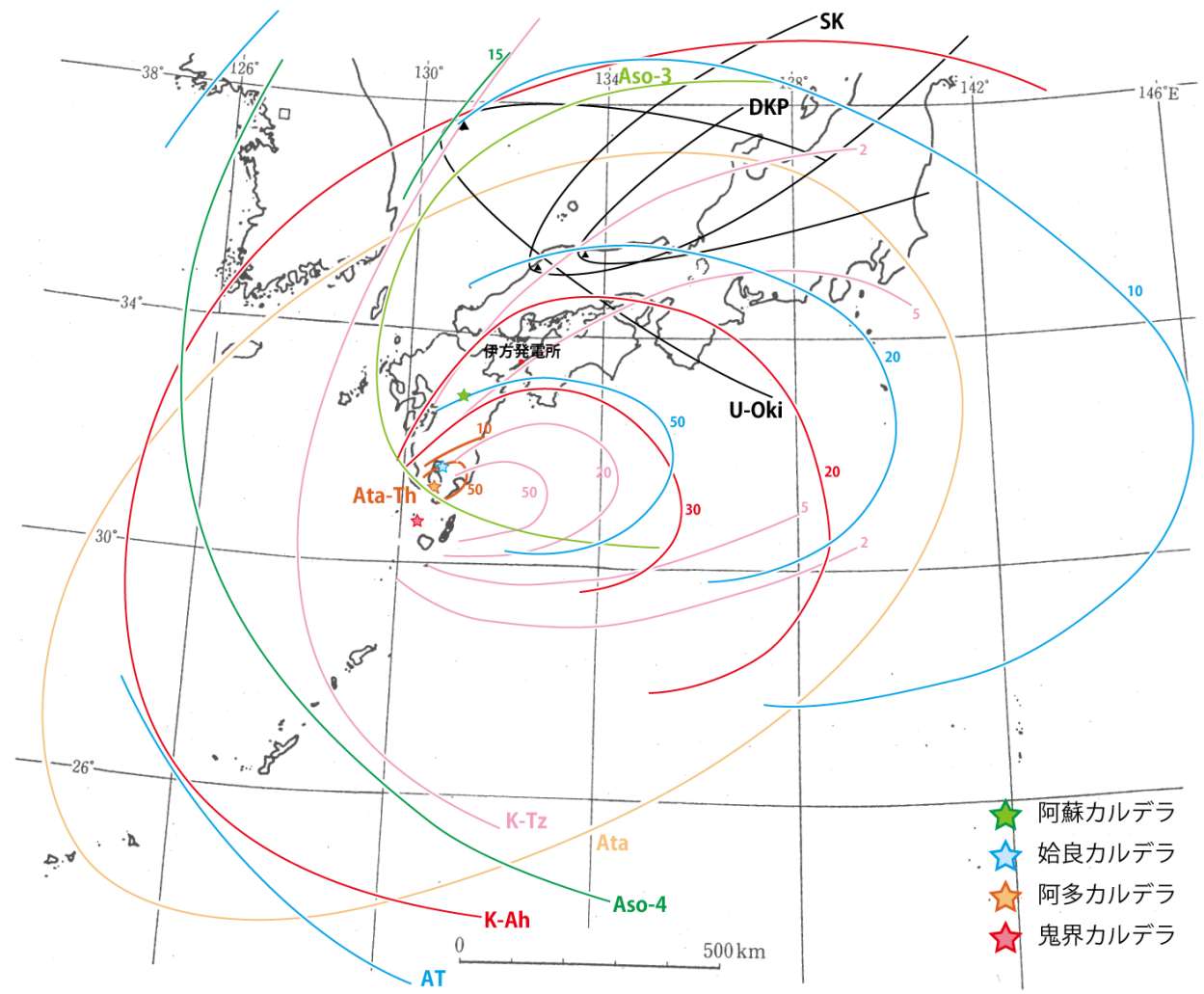
## III. 5. 設計で考慮する降下火砕物

原子力安全に対する信頼向上の観点から, 既存の知見を上回る噴出量を考慮し, 敷地において考慮すべき降下火砕物の厚さを保守的に15cmと評価する。また, 地質調査結果及び文献調査結果に基づき, 乾燥密度を0.5g/cm<sup>3</sup>, 湿潤密度を1.5g/cm<sup>3</sup>, 粒径を1mm以下主体と評価する。

## III. 6. 影響強化(まとめ)

# 広域火山灰の評価① <既存文献>

○四国に火山は分布しないものの、偏西風の影響を受けて九州のカルデラ火山を起源とする広域火山灰(K-Ah, AT, Aso-4, Ata等)が敷地付近に降下しているが、発電所運用期間中に厚い火山灰を降下させる巨大噴火の可能性は十分低い。



「新編 火山灰アトラス」  
(町田・新井, 2011) を基に作成



# 広域火山灰の評価② <宇和盆地の火山灰保存状況>

○敷地から南東約15kmの愛媛県宇和盆地には「九州起源のテフラが良好に保存」されており、平成20年に取得した長さ120mのボーリングコアに「九州起源の主要な広域テフラを含む、60枚以上のテフラ層およびクリプトテフラが認められる」(辻ほか, 2014)。

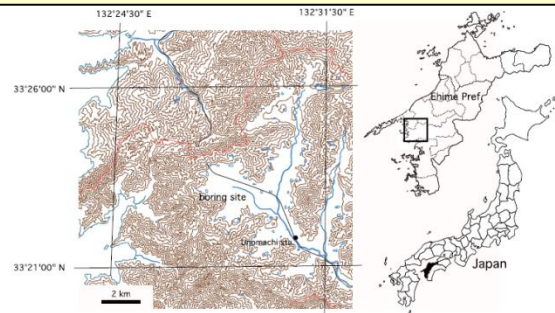
辻ほか(2014)より抜粋

SE

S



写真1 宇和盆地コア掘削地点周辺の地形。掘削地点の北西側より南東側を撮影。掘削地点周辺の標高215 m前後には南北約2.5 km、東西約2.5 kmの低地が広がっており、周囲を標高400～500 m前後の山地に囲まれている。掘削地点は宇和盆地西部に広がる低地の中央部である。掘削地点周辺には大きな河川は無く、低地中央部を東向きに深々川が流れている。撮影：池田倫治。



守田ほか(2014)より抜粋

図1 宇和盆地とUTコアのボーリング地点。  
Fig. 1 Locality map and boring point of UT core in the Uwa Basin, Ehime Prefecture, Japan (Modified from the 1:25,000-scale topographic map “Unomachi” of the Geographical Survey Institute of Japan).

## 【辻ほか(2014)より抜粋】

「愛媛県宇和盆地は、肱川の最上流に位置する内陸性盆地である(写真1)。いくつかのボーリング掘削および反射法地震探査によって、その地下に厚さ100 m以上の第四紀堆積物が埋積していることが明らかになっている(宇和町深層水資源調査会, 2007; 川村・篠原, 2008; 大野ほか, 2008)。本地域は九州の東側に位置すること、大きな河川が存在しないこと、細粒な湖成堆積物を主体としていることから、九州起源のテフラが良好に保存されている。」

「ボーリングコアは平成20年1月～3月に掘削されたもので(写真2)、コア長120 mの連続コアであり、コア径は深度70 mまではφ = 86 mm、それ以深はφ = 66 mmである。」

「主要なテフラおよびそれと関連する花粉帯の位置を示すボーリングコアの一部を写真3に示す。UT-21/22はMIS 7/8境界に対比される。UT-7/8境界の上位には阿蘇3 (Aso-3)、UT-21/22境界の下位の深度28.75～28.78 mには阿多鳥浜 (Ata-Th)に対比されるテフラが挟在する(写真3, 4)。これらのテフラの他、コア中には九州起源の主要な広域テフラを含む、60枚以上のテフラ層およびクリプトテフラが認められる。これらの層序、年代、層厚および供給源についてはNishizaka et al. (2010)およびTsuji et al. (2013)によって予察的に報告されている。また、約80万年間の火山灰層序を用いた降下火山灰の確率論的評価も行われている(大西ほか, 2013)。本コア中のテフラ層序を解読することは、約80万年前以降の九州の火山活動変遷および規模を評価するために重要であり、その検討結果は四国地方における広域テフラのカタログになり得る。」



写真3 ボーリングコア写真。上：UT-7/8境界、UT-8/9境界および阿蘇3 (Aso-3) が認められる。下：UT-20/21境界、UT-21/22境界および阿多鳥浜 (Ata-Th) が認められる。撮影：柳田 誠。



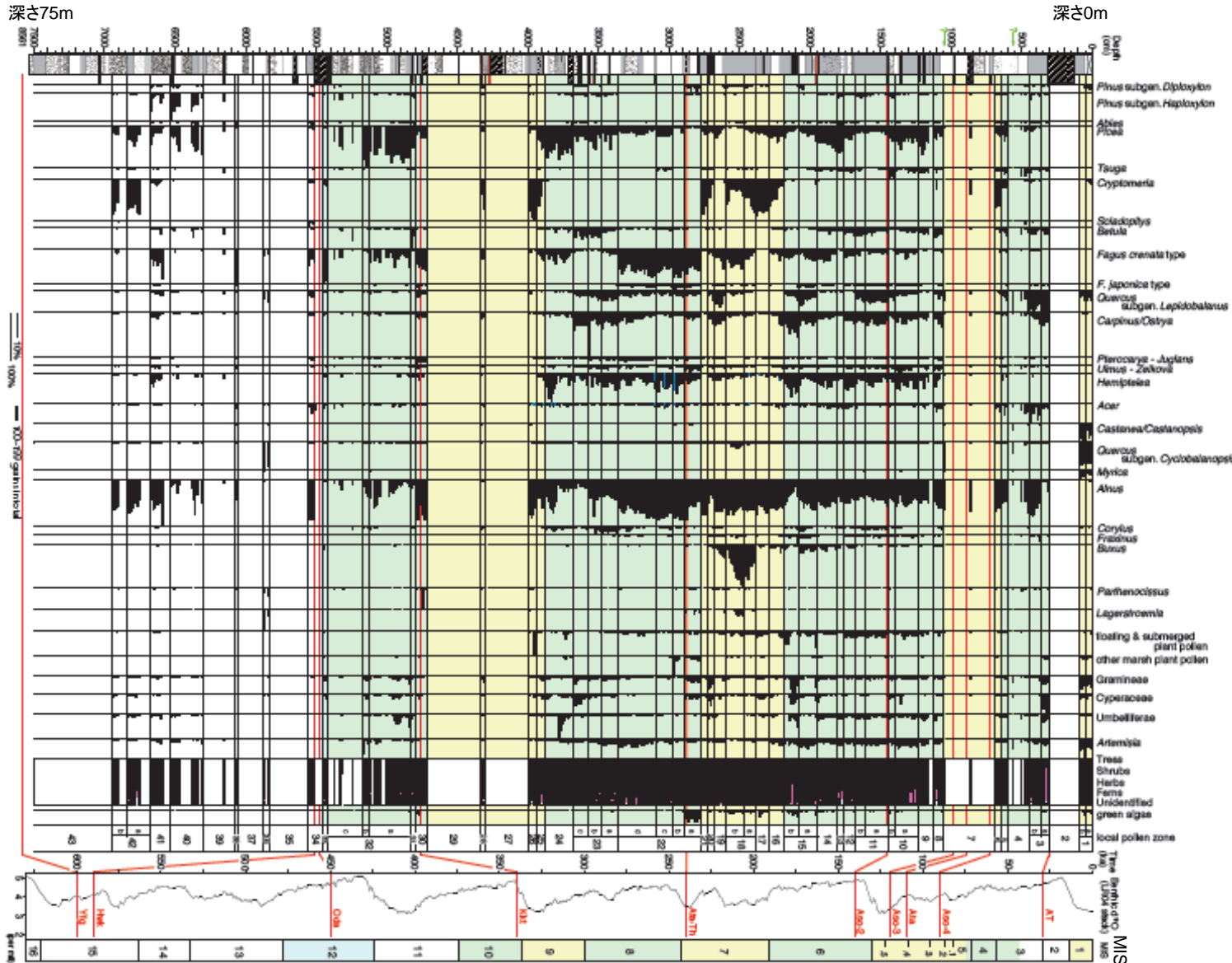


# 広域火山灰の評価③ <宇和盆地の連続的な堆積環境>

○宇和盆地で花粉分析を行った守田ほか(2014)によって、Kkt火山灰以降の連続的な堆積環境が示されている。

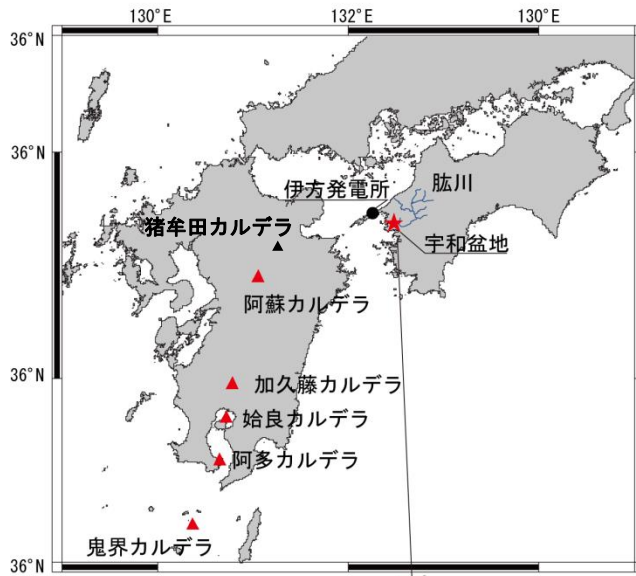
**【守田ほか(2014)より抜粋】**

「四国南西部に位置する宇和盆地で採取された深度120 mにおよぶUT コアの上部75 m について花粉分析を行い、上位よりUT-1 ~ UT-43の局地花粉帯を区分した。これらの花粉帯を、堆積物中に挟在する広域テフラ(AT, Aso-4, Ata, Aso-3, Aso-2, Ata-Th, Kkt, Oda, Hwk, Yfg)の降下年代を基にLR04の海洋酸素同位体曲線と比較した結果、MIS 15以降の気候変動にともなう植生変遷を明らかにすることができた。各花粉帯のうち、UT-3 ~ UT-5はMIS 3初期~MIS 5終末期に、UT-6はMIS 5.1に、UT-8はMIS 6終末期に、UT-9 ~ UT-15はMIS 6に、UT-16はMIS 6/MIS 7の境界に、UT-17 ~ UT-22aはMIS 7に、UT-22b ~ UT-24はMIS 8に、UT-25 ~ UT-29はMIS 9に、UT-30はMIS 9初期に、UT-31とUT-32はMIS 10に、UT-33はMIS 12に、UT-34 ~ UT-43はMIS 15にそれぞれ対比されたが、MIS 11に対応する花粉帯は欠如していた。氷期に対応する時期にはトウヒ属またはトウヒ属とブナ属、コナラ亜属、クマシデ属などの冷温帯広葉樹が優勢な森林で特徴づけられ、とりわけMIS 8は過去30万年間では最も湿潤な氷期であった。一方、間氷期には主にスギからなる森林が成立していた。」

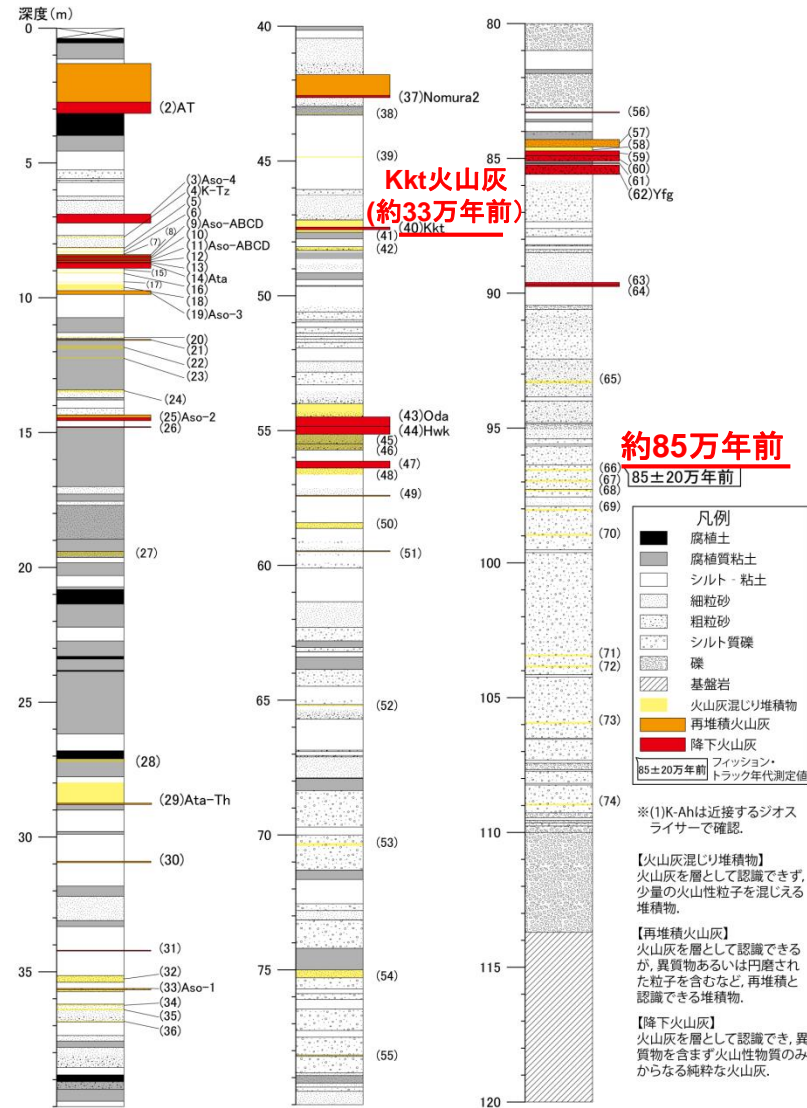


# 広域火山灰の評価④ <宇和盆地の火山灰厚さ>

○町田・新井(2011)等で四国西部に降下したとされるKkt火山灰(約33万年前)以降の主要な広域火山灰はすべて本コア中に含まれており、地理的領域外の火山を含めた九州のカルデラ火山による広域火山灰の信頼性の高い地質データである。

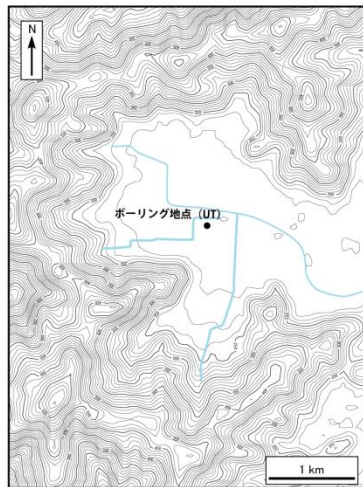


## コア柱状図



### 【評価】

○厚さ5cmを超える降下火山灰はいずれも九州のカルデラ火山を起源とする広域火山灰であり、地下構造に関する文献調査によると現在の九州のカルデラ火山のマグマ溜まりは巨大噴火直前の状態ではないため、発電所運用期間中に同規模の噴火の可能性は十分低く、これらの降下火砕物が敷地に影響を及ぼす可能性は十分に小さいと評価する。



## II. 1. 地理的領域(半径160kmの範囲)に分布する第四紀火山の抽出

42火山

## II. 2. 原子力発電所に影響を及ぼし得る火山の抽出

○完新世に活動を行った活火山

5火山

鶴見岳, 由布岳, 九重山, 阿蘇, 阿武火山群

○将来の活動可能性が否定できない火山

2火山

姫島, 高平火山群

○将来の活動可能性のない火山

35火山

## II. 3. 抽出された火山の火山活動に関する個別評価

○抽出された火山の活動性に関する個別評価

- ・阿蘇は運用期間中の噴火規模を検討し, 現在の噴火ステージにおける既往最大規模を考慮
- ・阿蘇以外の火山は既往最大規模の噴火を考慮

○設計対応不可能な火山事象

火砕物密度流・溶岩流・岩屑なだれ, 地滑り及び斜面崩壊・新しい火口の開口・地殻変動

敷地への到達なし

## III. 1. 原子力発電所の安全性に影響を与える可能性のある火山事象の抽出

○発電所に影響を与える可能性のある火山事象  
降下火砕物

○発電所に影響を与える可能性のない火山事象

火山性土石流, 火山泥流及び洪水・火山から発生する飛来物(噴石)・火山ガス・大気現象・熱水系及び地下水の異常

- ・津波及び静振は「津波評価」において影響を確認(山体崩壊を考慮)
- ・火山性地震とこれに関連する事象は「地震動評価」において影響を確認(M7.1を考慮)

## III. 2. 地理的領域外の火山による広域火山灰の評価

○広域火山灰の評価

文献調査及び地質調査による厚い火山灰は九州のカルデラ火山を起源とする広域火山灰であり, 発電所運用期間中に同規模の噴火の可能性は十分低く, 降下火砕物が敷地に影響を及ぼす可能性は十分に小さいと評価

## III. 3. 地理的領域内の火山による降下火山灰の地質調査

○地理的領域内の火山による降下火山灰の文献調査

地理的領域内の火山による降下火山灰の等層厚線図として, 九重第一軽石と草千里ヶ浜軽石が示されている

- ・九重第一軽石: 四国南西端の宿毛市で火山灰の報告あり
- ・草千里ヶ浜軽石: 四国における報告なし

○九重第一軽石に関する地質調査

・既存文献に示された通り, 九重第一軽石の分布の長軸は四国南西端方向であり, 敷地付近における降下厚さは**ほぼ0cm**と評価される

## III. 4. 地理的領域内の火山による降下火山灰シミュレーション

約5万年前の九重第一軽石は当時の気象条件に応じて東南東方向へ火山灰が降下したが, 同様の噴火が起こった時に現在の気象条件を考慮して敷地にどのような降灰が想定されるかを検討する。

ジェット気流がほぼ真西で安定する季節は敷地における降下厚さはほぼ0cmと評価される。ただし, 同規模の噴火時に風向きによっては敷地において厚さ数cmの降下火山灰が想定され, さらに既存の知見よりも噴出量を大きく見積もると十数cmの降下火山灰が想定される。

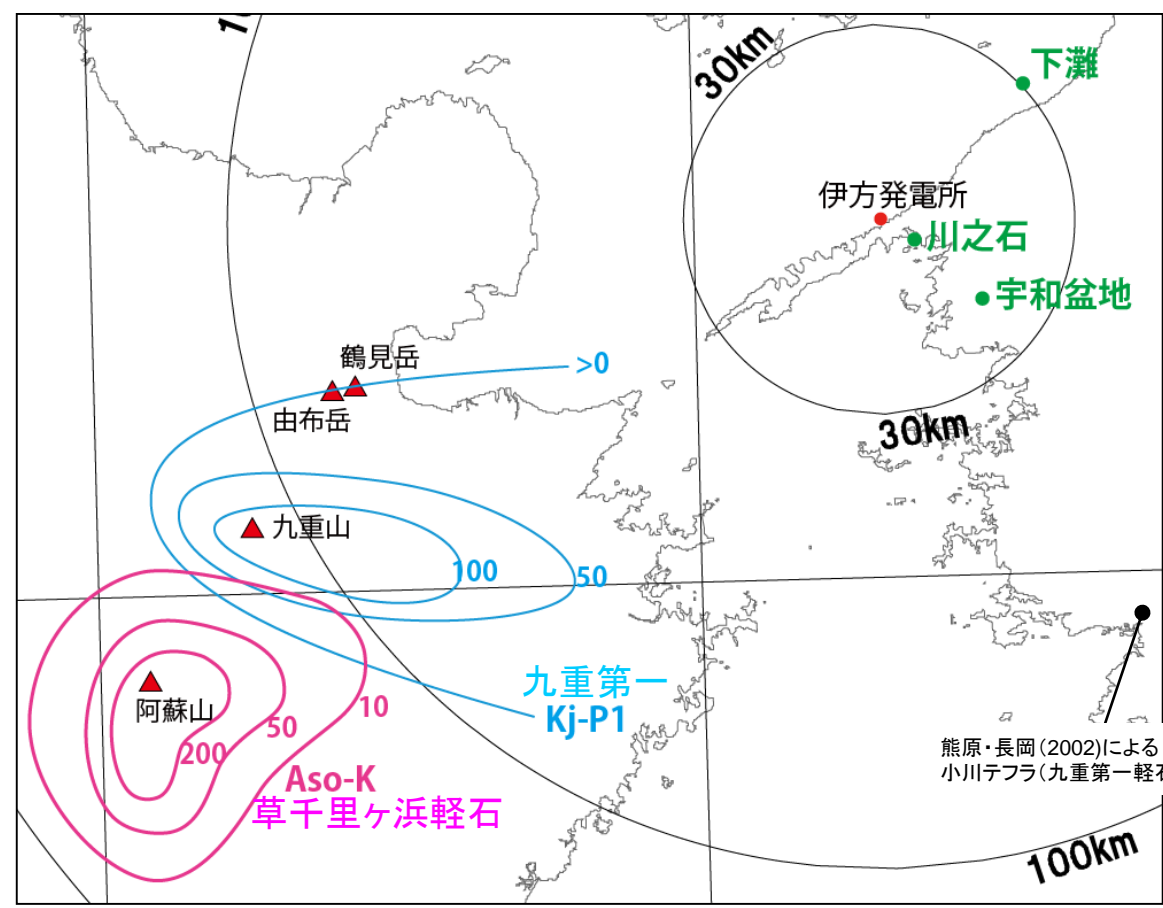
## III. 5. 設計で考慮する降下火砕物

原子力安全に対する信頼向上の観点から, 既存の知見を上回る噴出量を考慮し, 敷地において考慮すべき降下火砕物の厚さを保守的に15cmと評価する。また, 地質調査結果及び文献調査結果に基づき, 乾燥密度を0.5g/cm<sup>3</sup>, 湿潤密度を1.5g/cm<sup>3</sup>, 粒径を1mm以下主体と評価する。

## III. 6. 影響強化(まとめ)

# 地理的領域内の火山による降下火山灰の文献調査①

○「新編 火山灰アトラス」(町田・新井, 2011)によると, 地理的領域内の火山による降下火山灰の等層厚線図として, 九重山を給源とする九重第一軽石(約5万年前)と阿蘇山を給源とする草千里ヶ浜軽石(約3万年前)が示されている。九重第一軽石は東南東方向に細長い分布を示し, 四国南西端の宿毛市で火山灰の報告がある(熊原・長岡, 2002)。一方, 草千里ヶ浜軽石は阿蘇山を中心とする同心円状の分布を示し, 四国における報告はみられない。



熊原・長岡(2002)による  
小川テフラ(九重第一軽石)報告地点

※火山灰厚さの等層厚線図は「新編 火山灰アトラス」(町田・新井, 2011)から転記

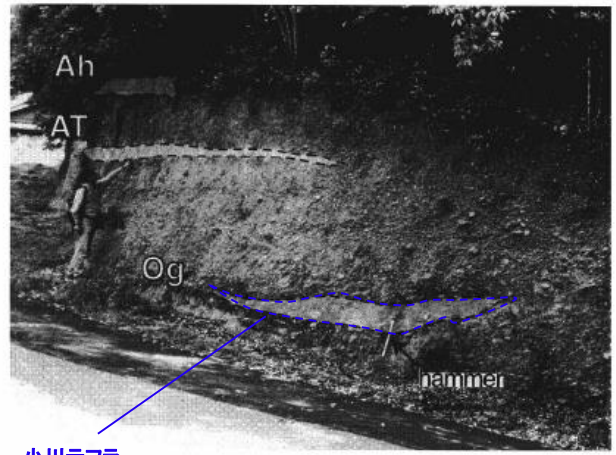


# 地理的領域内の火山による降下火山灰の文献調査②

○熊原・長岡(2002)は、敷地から約70km南南東の高知県宿毛市において、厚さ20cm, 40cmの小川テフラを報告し、九重第一軽石と対比した。「テフラ中には非火山性の砂が混入していることから、ユニットは水流によって二次的に形成された可能性が高い。」と評価しており(熊原・長岡, 2002; 熊原, 2002), これらは厚さ変化の著しいものであり、降下時の純粋な層厚には言及されていない。

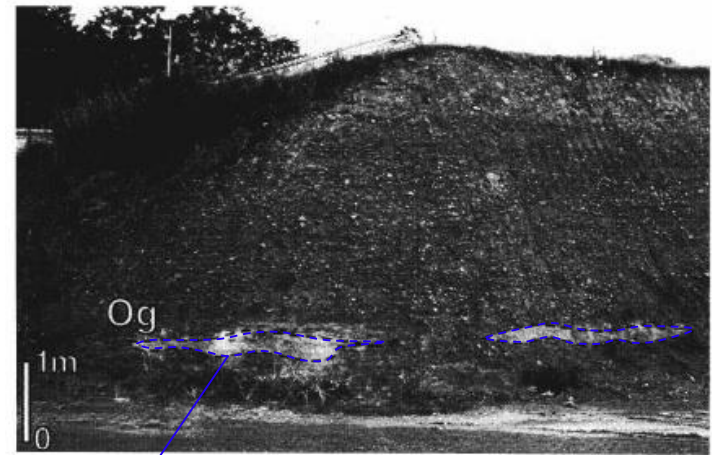


図 1 九重第一テフラの降下分布と小川テフラの確認地点  
九州地域の等層厚線は町田・新井(1992)をもとに作成。  
Fig. 1 Distribution of Kuju-Daiichi tephra and observation points of Ogawa tephra  
Thickness of the Kuju-Daiichi tephra inside Kyushu is modified from Machida and Arai (1992).



小川テフラ (九重第一軽石)  
図 4 Loc. 1 の露頭写真  
写真右下にあるハンマーの柄の長さは 40 cm である。  
Og: 小川テフラ, AT: 始良 Tn テフラ, Ah: 鬼界アカホヤテフラ

Fig. 4 Photograph of the outcrop at Loc. 1  
The length of the grip of the hammer is 40 cm as scale on right bottom of the photo.  
Og: Ogawa tephra, AT: Aira-Tanzawa tephra, and Ah: Kikai-Akahoya tephra



小川テフラ (九重第一軽石)  
図 5 Loc. 2 の露頭写真  
Og: 小川テフラ

Fig. 5 Photograph of the outcrop at Loc. 2  
Og: Ogawa tephra

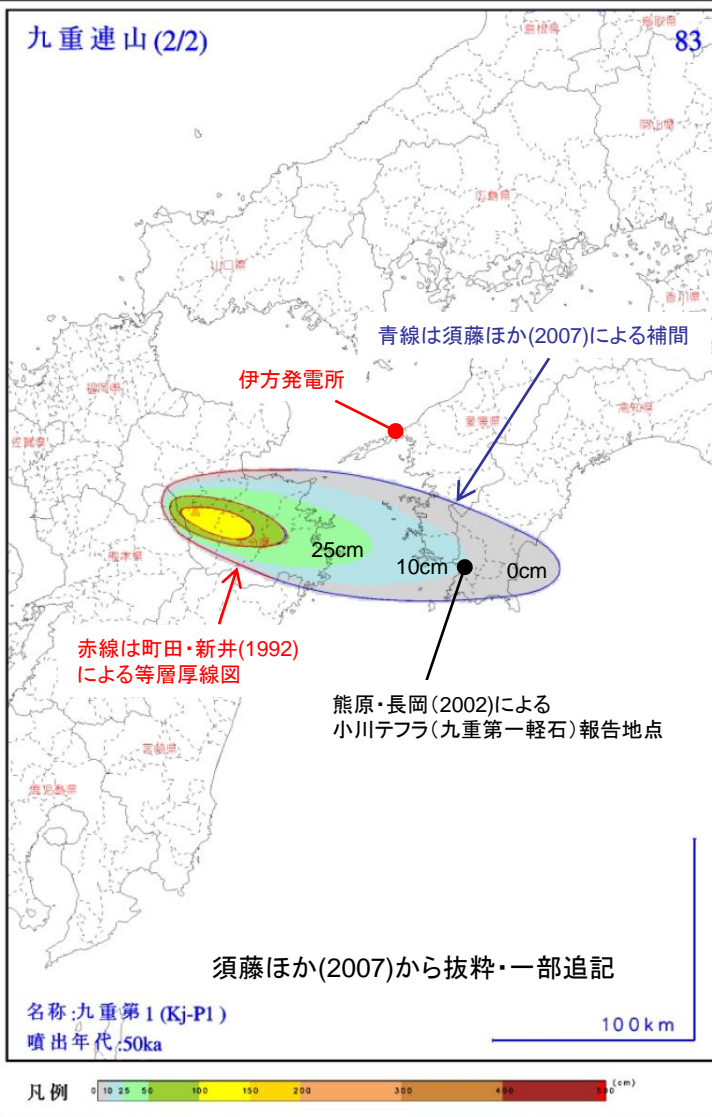
熊原・長岡(2002)から抜粋・一部追記

**【熊原・長岡(2002)より抜粋】**  
 模式地のLoc.1は、町田・新井(1978)によって鬼界アカホヤテフラ(K-Ah)と始良Tnテフラが記載された露頭である。Loc.1における小川テフラは、現河床との比高約8mの低位段丘を覆う崖錐堆積物中に挟まれる。この崖錐堆積物は層厚5m以上、粒径10~20cm程度の角礫層からなり、上位から鬼界アカホヤテフラ、始良Tnテフラ、小川テフラを挟む(図3, 図4)。鬼界アカホヤテフラと始良Tnテフラ間の崖錐堆積物の層厚は100cmで、始良Tnテフラと小川テフラ間の崖錐堆積物の層厚は180cmである(図3)。小川テフラの下位では層厚60cmの崖錐堆積物が低位段丘面を覆っている。崖錐堆積物中には明瞭な不整合面は認められない。Loc.1では、低位段丘の構成層は観察できないが、約100m下流の地点では、低位段丘の構成層は層厚3m以上の20~40cmの亜円礫からなる。ここでの小川テフラは、層厚20cm, 中~細粒砂サイズの結晶質降下軽石層である。色調は黄褐色を呈し、降下ユニットは認められない。火山灰層中には非火山性の細粒砂が混入する。  
 Loc.2では、小川テフラは現河床との比高20mの低位段丘構成層中に挟在する(図3, 図5)。低位段丘の構成層は、厚さ7m以上、平均粒径5~10cmの垂角礫層からなる。Loc.2における小川テフラは層厚40cmであり、2層の青白色ごま塩状のユニットとそれらに挟まれたクリーム色のユニットから構成される。テフラ中には四万十帯起源の砂粒が混入していることから、ユニットは水流によって二次的に形成された可能性が高い。

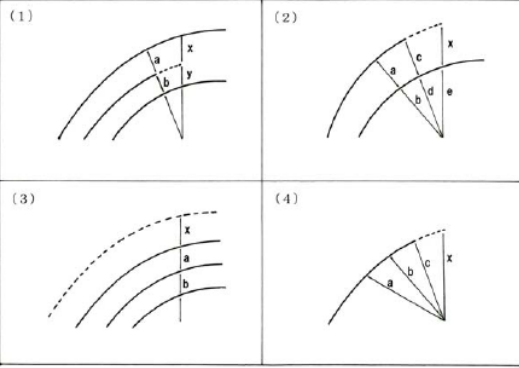
**【熊原(2002)より抜粋】**(Loc.9は熊原・長岡(2002)のLoc.1, Lo.10は熊原・長岡(2002)のLoc.2と対応する)  
 本テフラは、Loc. 9, 10の2地点で確認される(図2, 3)。Loc. 9における本テフラは、層厚20cm, 細~中粒砂サイズの結晶質火山灰である。色調は黄褐色を呈し、降下ユニットは認められない。Loc. 10における本テフラは、2層のごま塩状青白色のユニットとそれらに挟まれるクリーム色のユニットから構成され、テフラの全層厚は40cmである。テフラ中には非火山性の砂が混入していることから、ユニットは水流によって二次的に形成された可能性が高い。熊原・長岡(2002)は、本テフラを小川テフラと呼び、鉱物組成・鉱物の屈折率・年代の整合性を基に、このテフラを中部九州・九重火山から噴出した九重第一テフラに対比した。

# 地理的領域内の火山による降下火山灰の文献調査③

○既存の公表資料に記載された等層厚線図に「図学的な処理を施して未完成の各等層厚線を補間した」須藤ほか(2007)は、「火山灰アトラス」(町田・新井, 1992)に示された九州での等層厚線図を基に、熊原・長岡(2002)による九重第一軽石報告地点の層厚を10cmとして等層厚線図を完成させ、その噴出量が2.03km<sup>3</sup>と見積もられることを示した。



【須藤ほか(2007)より抜粋】  
「既にわが国の火山灰については、「火山灰アトラス」(町田・新井編, 1992)が作成され、137のユニットのデータがまとめられている。今回は、それ以降の資料も含め、計551の火山灰ユニットの等層厚線図を収集した。年代等のデータについては、町田・新井編(2003)を含め、適宜新たな資料も参照した。」  
「既存の公表資料に記載されている等層厚線(以下、既存等層厚線とする)図は、1)線が閉じていないことがある、2)本数が十分でないことがある、3)各層厚測定点の厚さから等層厚線を描くまでの間に各原著者の考え方が強く反映されることがあるなど、層厚分布図を完成させるまでの過程で何らかの作業が必要なものが多い。本作業では、等層厚線は火口を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、複数の等層厚線は互いに交差しない、層厚値は火口から離れるにしたがい小さくなるものとし、以下のような図学的な処理を施して未完成の各等層厚線を補間した。」



須藤ほか(2007)から抜粋

第2図 等層厚線補間の方法を示す略図。  
Fig. 2 Schematic figures to show how to complete the isopleth.

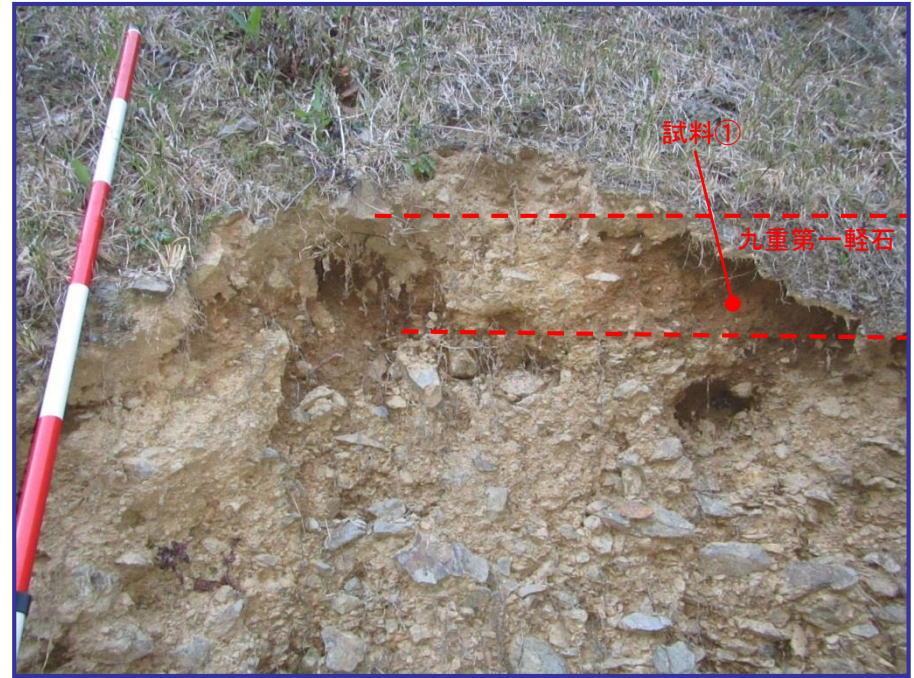
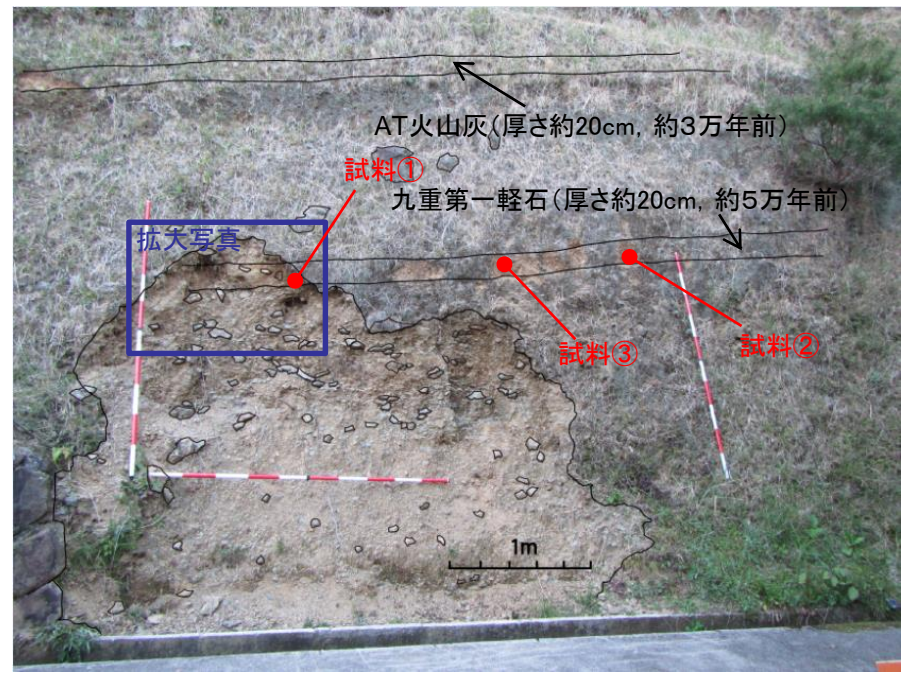
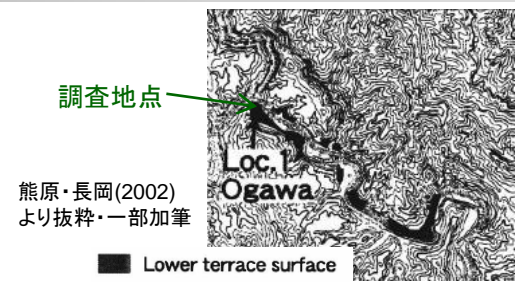
【須藤ほか(2007)より抜粋】  
「火山灰の体積は、既に公表文献に記載されていることがあり、町田・新井編(2003)は、それを火山爆発度指数、VEI(Volcanic Explosivity Index)(Newhall and Self(1982)を引用)として各ユニットの値をまとめて表示した。この表示法では、火山灰の体積は一桁区切りで表される。この値と本研究で求めた体積とは162のユニットについて比較でき、そのうちの76%は、一致して対応した。本研究で求めた体積のほうが小さかったユニットは19%、大きかったユニットは5%であった。一致しなかったのは、例えば既存公表資料の中に示された等層厚線の数が少ない場合であり、遠方に達した0cmの等層厚線のすぐ内側に15cmの線が描かれているなど、火口からの距離と層厚の相関が不自然な場合に相当するものなどであった。  
3.1章で示した方法によって生じるであろう個々の誤差の見積もりは行っていない。体積などを真の値と比較しようにも、そもそも真の値は不明であり、既存の公表資料中のものもすべて推定値である。結果的には、上記のように、本報告で求めた火山灰の体積が、既存公表資料のそれと大きな差はないことから、本報告で得られた個々のユニットの値はおおむね妥当であるとして以下の議論を進める。」



# 高知県宿毛市における九重第一軽石の地質調査

○熊原・長岡(2002)が報告した宿毛市の九重第一軽石露頭は、道路工事によって失われて現在は確認できない。熊原・長岡(2002)によるLoc.1(厚さ20cmの九重第一軽石)の北西方約100mに同層準の地層が露頭しており、AT火山灰(厚さ約20cm, 約3万年前)の下位約1.5mに九重第一軽石(厚さ約20cm, 約5万年前)を確認できる。

○当該露頭において、熊原・長岡(2002)による九重第一軽石の記載と同様、九重第一軽石は角閃石濃集層として認められる。また、火山灰層は礫層中に挟まれて径数cm以上の礫を含み、全体の約50%は異質岩片から成るとともに降下ユニットが認められないことから、水流による再堆積層と判断される。



九重第一軽石(宿毛) 粒子組成分析結果一覧表

試料名	粒度(mm)	火山ガラス			軽鉱物 Pl & Qt	重鉱物								Rock	Volcanic Rock	材	Total	備考
		Bw	Pm	O		Opx	Cpx	Gho	Bho	Baho	Bi	Opq	Oth					
試料①	1/16-1/8	0	0	0	18	0	0	72	0	0	1	48	0	161	0	0	300	Gho(緑色普通角閃石)の屈折率: 1.669-1.676(1.686-1.687微量含む)
試料②	1/16-1/8	1	2	1	26	0	0	67	0	0	3	50	0	150	0	0	300	火山ガラスの屈折率: 1.497-1.500, 1.510-1.515(AT,K-Ahのコンタミ)
試料③	1/16-1/8	2	0	0	32	0	0	65	0	0	2	33	0	166	0	0	300	Gho(緑色普通角閃石)の屈折率: 1.669-1.676(1.681-1.690微量含む) 火山ガラスの屈折率: 1.498-1.500, 1.508-1.516(AT,K-Ahのコンタミ)

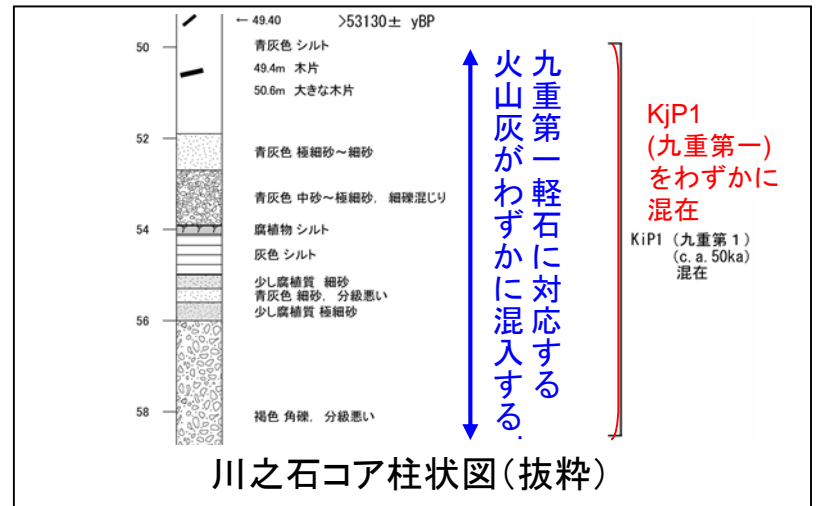
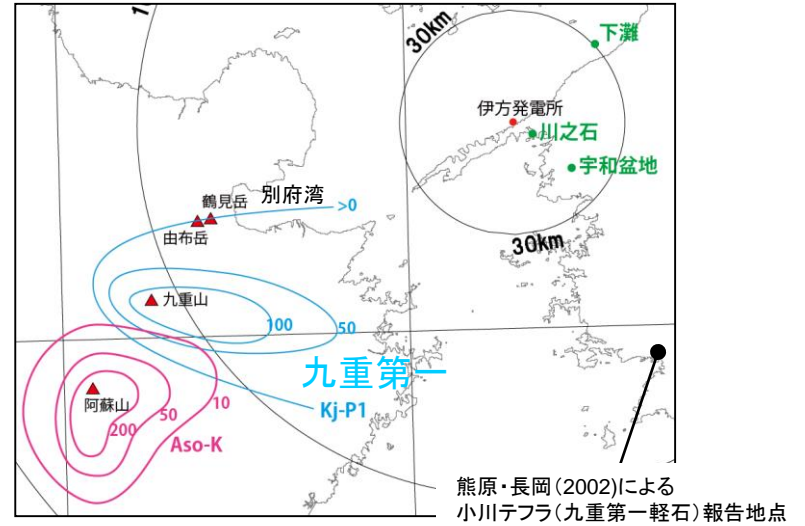
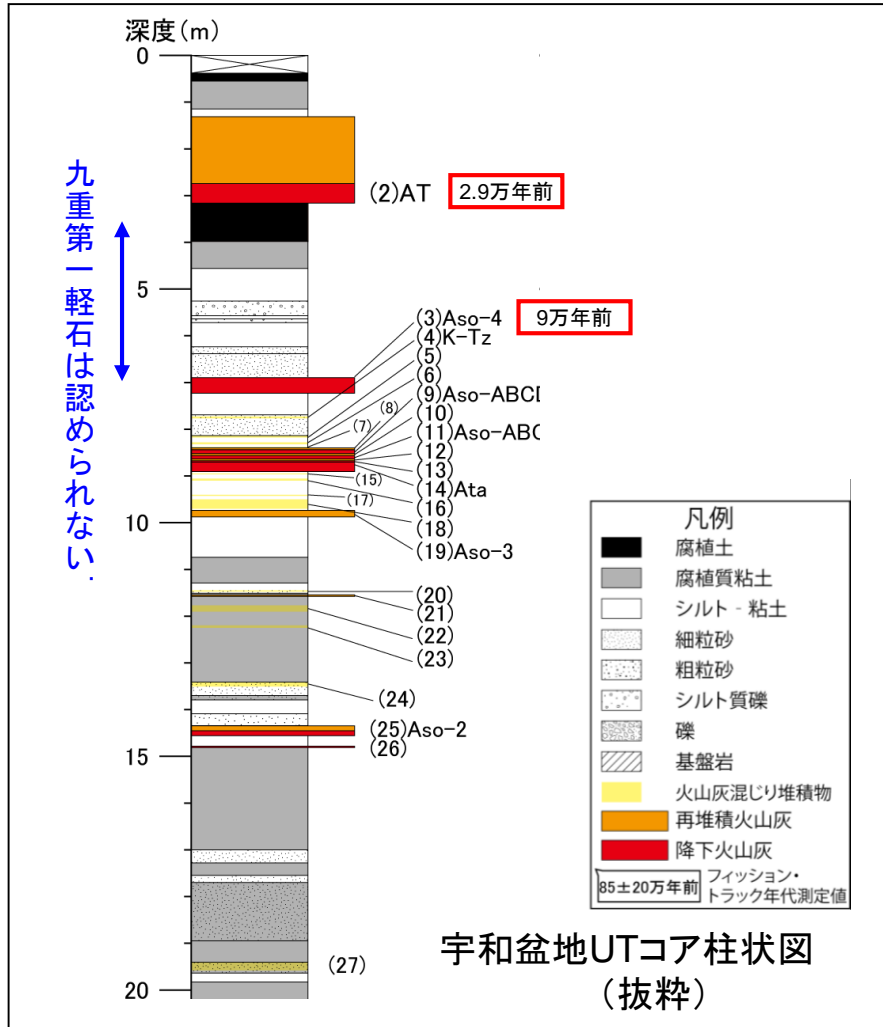
Bw: バブルウォールタイプ Pl: 長石 Qt: 石英  
 Pm: パミスタイプ Opx: 斜方輝石 Cpx: 単斜輝石 Gho: 緑色普通角閃石 Bho: 褐色角閃石  
 O: 低発泡タイプ Bi: 黒雲母 Opq: 不透明鉱物 Oth: その他の重鉱物  
 Rock: 岩片・風化粒 Volcanic Rock: 火山岩片 材: 炭化木など

異質岩片を約50%(150/300)含む  
 普通角閃石の屈折率が熊原・長岡(2002)に示されたLoc.1の屈折率(1.670-1.679)と一致する熊原・長岡(2002)によると、「火山ガラスは両地点とも風化して消滅している」とされている。  
 試料②, ③に含まれる微量の火山ガラスはAT,K-Ahのコンタミと判断される。



# 敷地周辺における九重第一軽石の地質調査

○川之石港では九重第一軽石(50ka)に対応する火山灰がわずかに(肉眼観察できないほど微量)混入するが、宇和盆地の連続した細粒堆積物中に九重第一軽石と対応する火山灰層は認められない。既存文献に示された通り、九重第一軽石の分布の長軸は四国南西端方向であり、敷地付近における降下厚さはほぼ0cmと評価される。



## II. 1. 地理的領域(半径160kmの範囲)に分布する第四紀火山の抽出

42火山

## II. 2. 原子力発電所に影響を及ぼし得る火山の抽出

○完新世に活動を行った活火山

5火山

鶴見岳, 由布岳, 九重山, 阿蘇, 阿武火山群

○将来の活動可能性が否定できない火山

2火山

姫島, 高平火山群

○将来の活動可能性のない火山

35火山

## II. 3. 抽出された火山の火山活動に関する個別評価

○抽出された火山の活動性に関する個別評価

- ・阿蘇は運用期間中の噴火規模を検討し、現在の噴火ステージにおける既往最大規模を考慮
- ・阿蘇以外の火山は既往最大規模の噴火を考慮

○設計対応不可能な火山事象

火砕物密度流・溶岩流・岩屑なだれ, 地滑り及び斜面崩壊・新しい火口の開口・地殻変動

敷地への到達なし

## III. 1. 原子力発電所の安全性に影響を与える可能性のある火山事象の抽出

○発電所に影響を与える可能性のある火山事象  
降下火砕物

○発電所に影響を与える可能性のない火山事象

火山性土石流, 火山泥流及び洪水・火山から発生する飛来物(噴石)・火山ガス・大気現象・熱水系及び地下水の異常

- ・津波及び静振は「津波評価」において影響を確認(山体崩壊を考慮)
- ・火山性地震とこれに関連する事象は「地震動評価」において影響を確認(M7.1を考慮)

## III. 2. 地理的領域外の火山による広域火山灰の評価

○広域火山灰の評価

文献調査及び地質調査による厚い火山灰は九州のカルデラ火山を起源とする広域火山灰であり、発電所運用期間中に同規模の噴火の可能性は十分低く、降下火砕物が敷地に影響を及ぼす可能性は十分に小さいと評価

## III. 3. 地理的領域内の火山による降下火山灰の地質調査

○地理的領域内の火山による降下火山灰の文献調査

地理的領域内の火山による降下火山灰の等層厚線図として、九重第一軽石と草千里ヶ浜軽石が示されている

- ・九重第一軽石: 四国南西端の宿毛市で火山灰の報告あり
- ・草千里ヶ浜軽石: 四国における報告なし

○九重第一軽石に関する地質調査

・既存文献に示された通り、九重第一軽石の分布の長軸は四国南西端方向であり、敷地付近における降下厚さはほぼ0cmと評価される

## III. 4. 地理的領域内の火山による降下火山灰シミュレーション

約5万年前の九重第一軽石は当時の気象条件に応じて東南東方向へ火山灰が降下したが、同様の噴火が起こった時に現在の気象条件を考慮して敷地にどのような降灰が想定されるかを検討する。

ジェット気流がほぼ真西で安定する季節は敷地における降下厚さは**ほぼ0cm**と評価される。ただし、同規模の噴火時に風向きによっては敷地において厚さ**数cm**の降下火山灰が想定され、さらに既存の知見よりも噴出量を大きく見積もると**十数cm**の降下火山灰が想定される。

## III. 5. 設計で考慮する降下火砕物

原子力安全に対する信頼向上の観点から、既存の知見を上回る噴出量を考慮し、敷地において考慮すべき降下火砕物の厚さを保守的に15cmと評価する。また、地質調査結果及び文献調査結果に基づき、乾燥密度を0.5g/cm<sup>3</sup>、湿潤密度を1.5g/cm<sup>3</sup>、粒径を1mm以下主体と評価する。

## III. 6. 影響強化(まとめ)

# 降下火山灰シミュレーションの解析方針

○約5万年前の九重第一軽石は当時の気象条件に応じて東南東方向へ火山灰が降下したが、同様の噴火が起こった時に現在の気象条件を考慮して敷地にどのような降灰が想定されるかを検討する。

1. 解析コード: Tephra2(移流拡散モデル)

2. 用いたパラメータ

イベント名	パラメータ	単位	値	設計資料等
九重第一 軽石	噴出量	km <sup>3</sup>	2.03	須藤ほか(2007)による九重第一軽石の噴出量2.03km <sup>3</sup> より設定
	噴煙柱高度	m	25000	下鶴ほか編(2008)によるVEI5の噴煙柱高度(25km<)より設定
	平均粒径	mm	1/2 <sup>4.5</sup>	Tephra2推奨値(プリニー式噴火, 1980年セントヘレンズVEI5:1/2 <sup>4.5</sup> )より設定
	粒径分散	mm	1/2 <sup>3.0</sup>	Tephra2推奨値(プリニー式噴火, 1980年セントヘレンズVEI5:1/2 <sup>3.0</sup> )より設定
	給源(北緯)	-	33° 5' 9"	日本活火山総覧(第4版)(気象庁, 2013)より設定
	給源(東経)	-	131° 14' 56"	
	給源(標高)	m	1791	
	Fall Time Threshold	s	3600	萬年(2013)より設定
	岩石密度	t/m <sup>3</sup>	2.6	Tephra2推奨値より設定
	軽石粒子密度	t/m <sup>3</sup>	1.0	Tephra2推奨値より設定
	拡散係数	-	200	Tephra2初期値, 萬年(2013)より設定
	渦拡散係数	-	0.04	Suzuki(1983)より設定
	最大粒径	mm	1/2 <sup>-10</sup>	Tephra2推奨値(珪長質:-10)より設定
	最小粒径	mm	1/2 <sup>10</sup>	Tephra2推奨値(珪長質:10)より設定
	風向	m/s	月別平年値	福岡における高層気象観測データ(「高層気象観測年報」収録)より設定※
風速	°	月別平年値	福岡における高層気象観測データ(「高層気象観測年報」収録)より設定※	

※福岡と鹿児島に高層の風データがあり、両者に大きな差がないことを確認したうえで福岡の風データを使用

3. 解析方針

1月～12月の月別平年値の風による敷地での降下火山灰厚さを評価する。12か月の中で敷地で最も厚い火山灰厚さとなる月の風を用いたシミュレーションを保守的に基本ケースとし、さらに各種の不確かさを考慮して敷地における火山灰厚さへの影響について検討する。

- ①風速±1σ(風速のばらつきによる影響を検討)
- ②ばらつきを考慮して風向を敷地方向へ近づける(風向のばらつきによる影響を検討)
- ③噴煙柱高さ±5km(噴煙柱の高低による影響を検討)

4. 解析結果の妥当性確認

九重第一軽石の等層厚線図と解析結果を比較する。

# 1. 解析コード: Tephra2の概要

- 降下火山灰シミュレーションコードである「Tephra2」の理論や実行方法などについて記述した萬年(2013)によると、「適当な初期パラメータを与えることにより、堆積物の分布を計算できる」ことが示されている。
- 萬年(2013)によると、「Tephra2の**移流拡散モデル**はずいぶん単純化されたもの」であり、「風による移動について言うと、**風向きと風速は各高度範囲で一定と仮定される**。実際には風は渦を巻いたり、蛇行をしたりするはずだが、そういう複雑な動きを盛り込むことはできない」とした上で、「火山周辺100kmオーダーで風向きが大きく変わるといのは考えにくい」ため、「100kmのオーダー以下で考える場合Tephra2は一定の実用性がある」とされている。
- なお、萬年(2013)は、Tephra2の問題点として、「**火口の極近傍の堆積物をうまく表現できない**ことや、大きい噴火では噴煙の高さがほとんど決まらない」ことなどを挙げている。

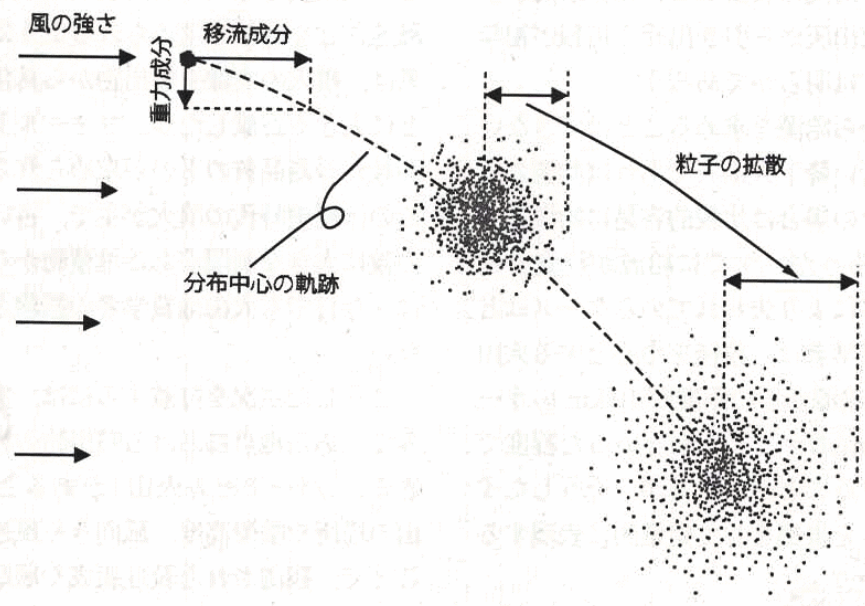


図1 移流拡散モデルの概念図

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。粒子の一団は時間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。

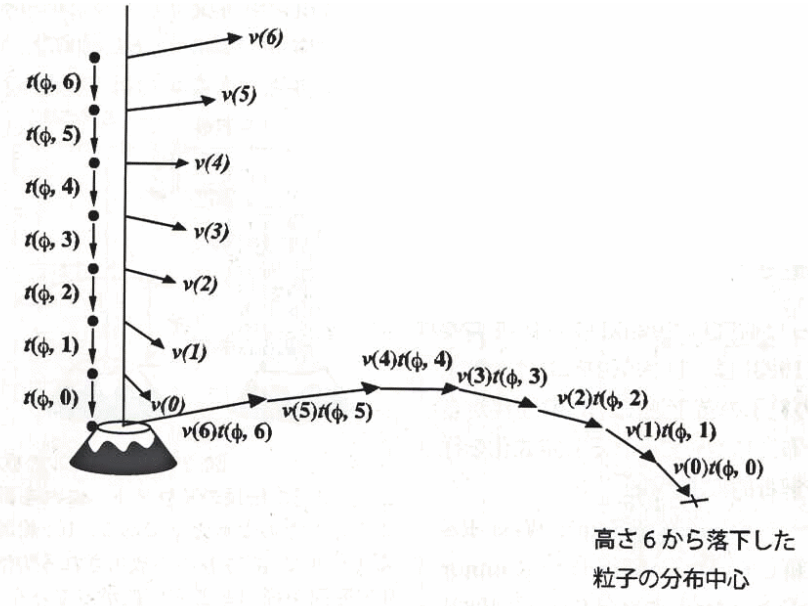


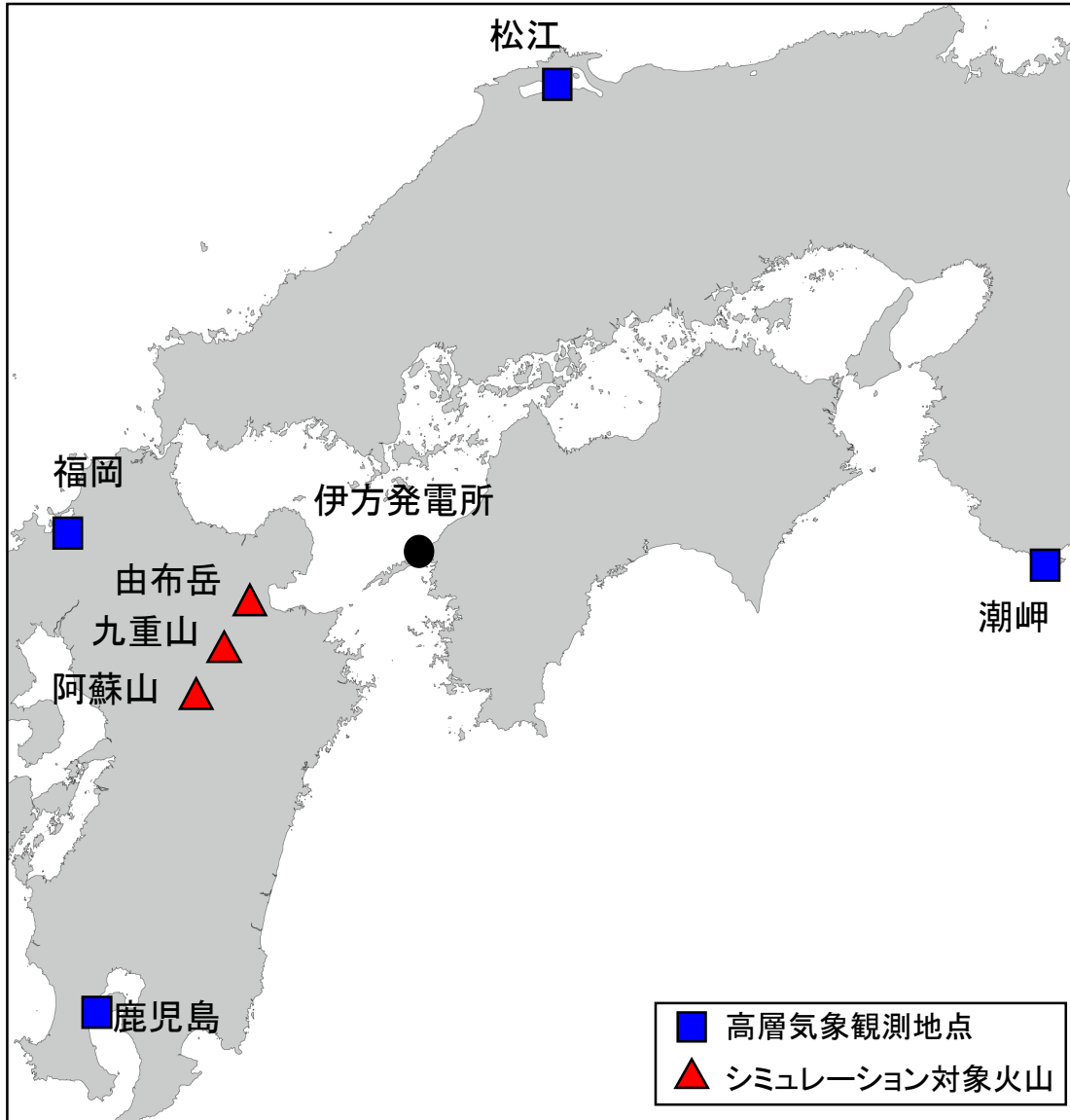
図3 移流の概念図

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。





## 2. 使用するパラメータ:風データの概要



- 降下火山灰シミュレーション(Tephra2)においては、火口から噴煙柱高度(高さ数十km)まで高さごとの風向・風速を設定し、解析領域内で一定の風を仮定して解析する。
- 高層の風向・風速データが必要であり、対象火山や伊方発電所に最も近い福岡における高層気象観測データ(「高層気象観測年報」収録)を用いる。
- 火山灰は火口から風で飛ばされ、時間をかけて遠方へ拡散・降下するため、信頼性のあるシミュレーションのためには、時々刻々と変化する場所によっても異なる風向・風速から局地的な短期変動を除去することが重要である。

### 【高層気象観測データ】

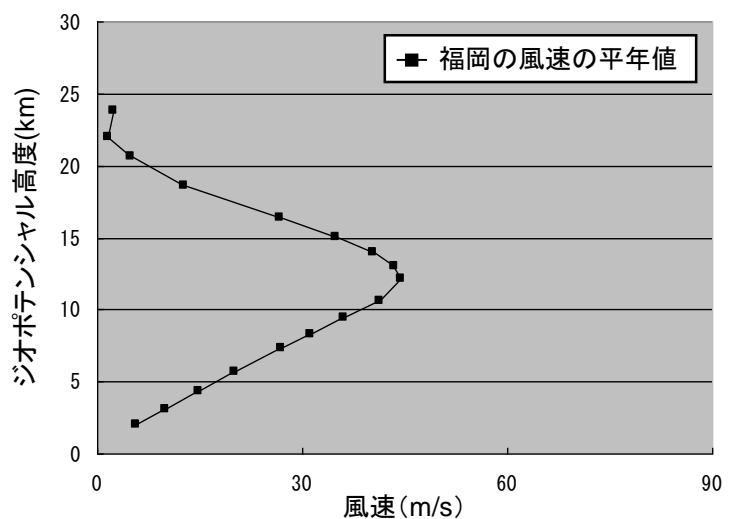
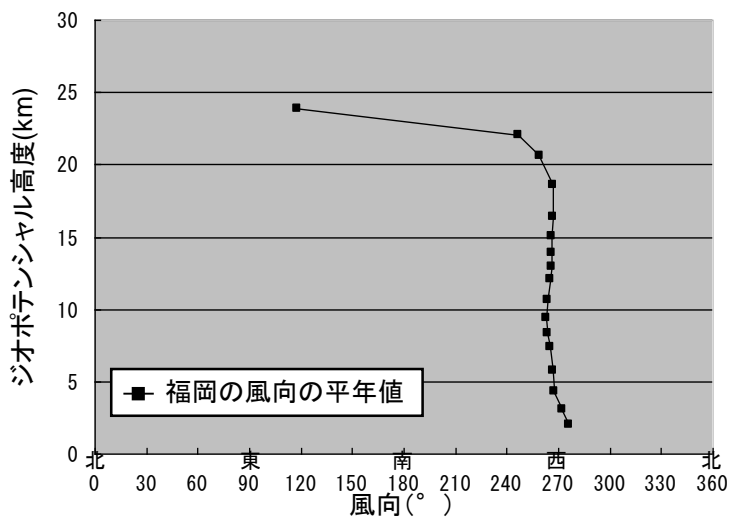
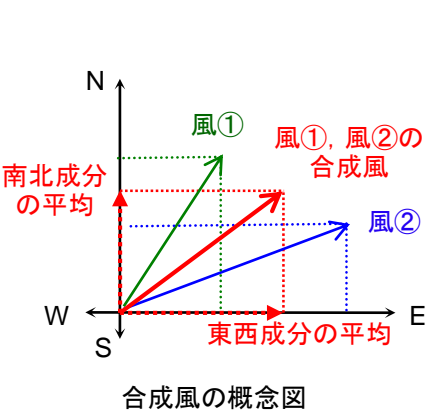
- ・気象庁は、全国16箇所の高層気象観測地点において、1日に2回(9時, 21時), ラジオゾンデをゴム気球に吊るして飛揚し、地上から高度約30kmまでの大気の状態を観測している。
- ・高層気象観測は指定気圧面<sup>※1</sup>において、ジオポテンシャル高度<sup>※2</sup>, 風向, 風速等を観測している。
- ・各地点における観測記録は1988年以降のデータが公開されている(ただし、松江は2010年3月からのデータ)。



## 2. 使用するパラメータ:風の平年値の特徴

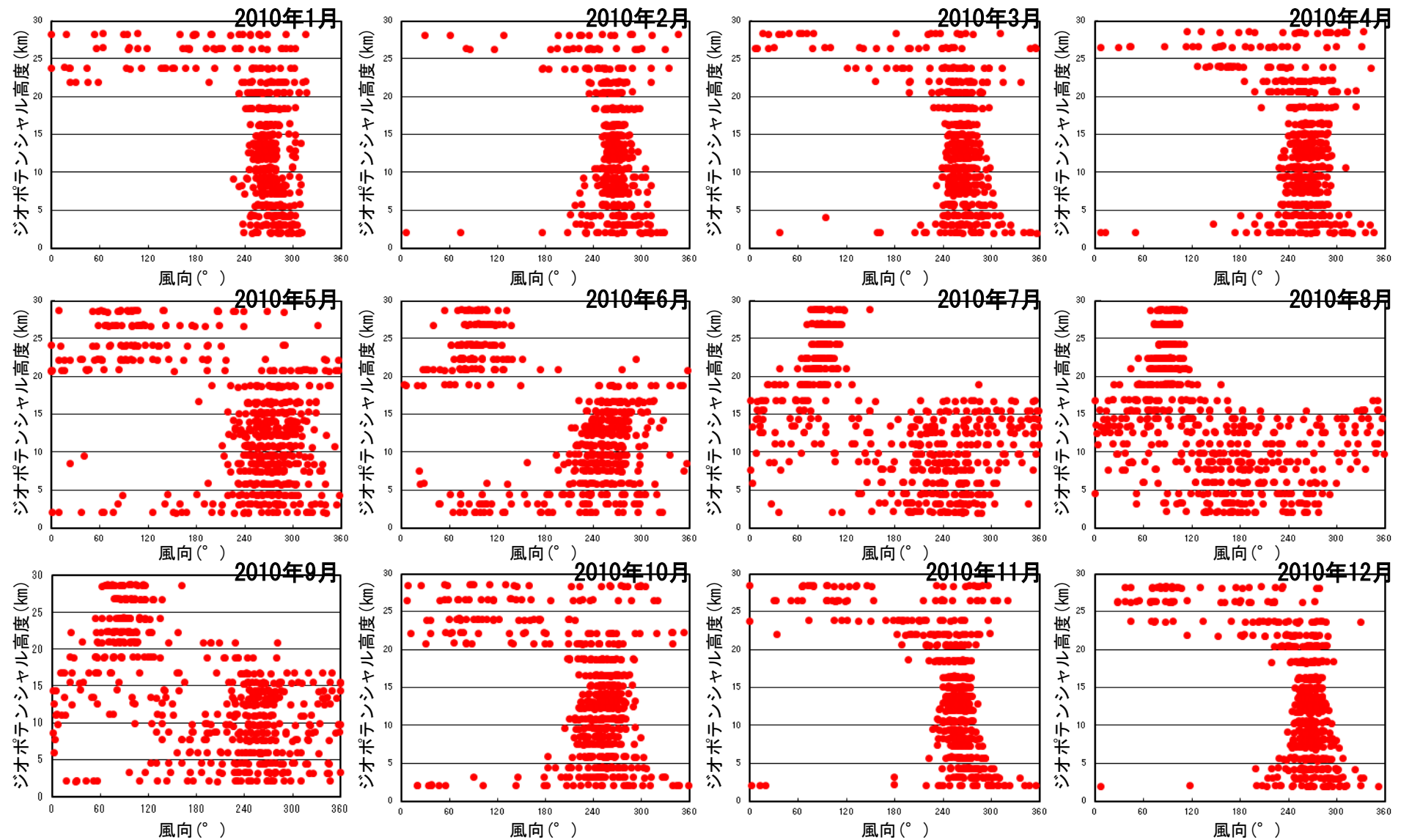
○気象庁は、「局地的な短期変動の除去」等を考慮し、「その時々気象や天候を評価する基準」として、30年間の統計を「平年値」として採用している。福岡における風の平年値をみると、風向はほぼ真西で高度約10km～約15kmにおいてジェット気流が卓越しており、風速は高度約12kmの約40m/sが最大となる。

- 【平年値】**
- 気象庁『気象観測統計指針』において、
    - ・平年値は連続する30年間について算出した累年平均値であり、その統計期間(現在は1981～2010年)に引き続く10年間使用し、10年ごとに更新する。
    - ・平年値は、その時々気象や天候を評価する基準として利用されると共に、その地点の気候を表す値として用いられる。
    - ・平年値の安定性(局地的な短期変動の除去)や均質なデータが得られる地点数などを考慮し、30年間の統計が採用されているとされている。
  - 高層気象観測データの平年値として、ジオポテンシャル高度、風向、風速のデータが公開されている。なお、風向・風速は、「観測ごとの風速の東西、南北成分をそれぞれ観測時刻別に月平均(成分風)し、それを合成した風向・風速」である合成風の風向・風速が示されている。



## 2. 使用するパラメータ: 風向のばらつき

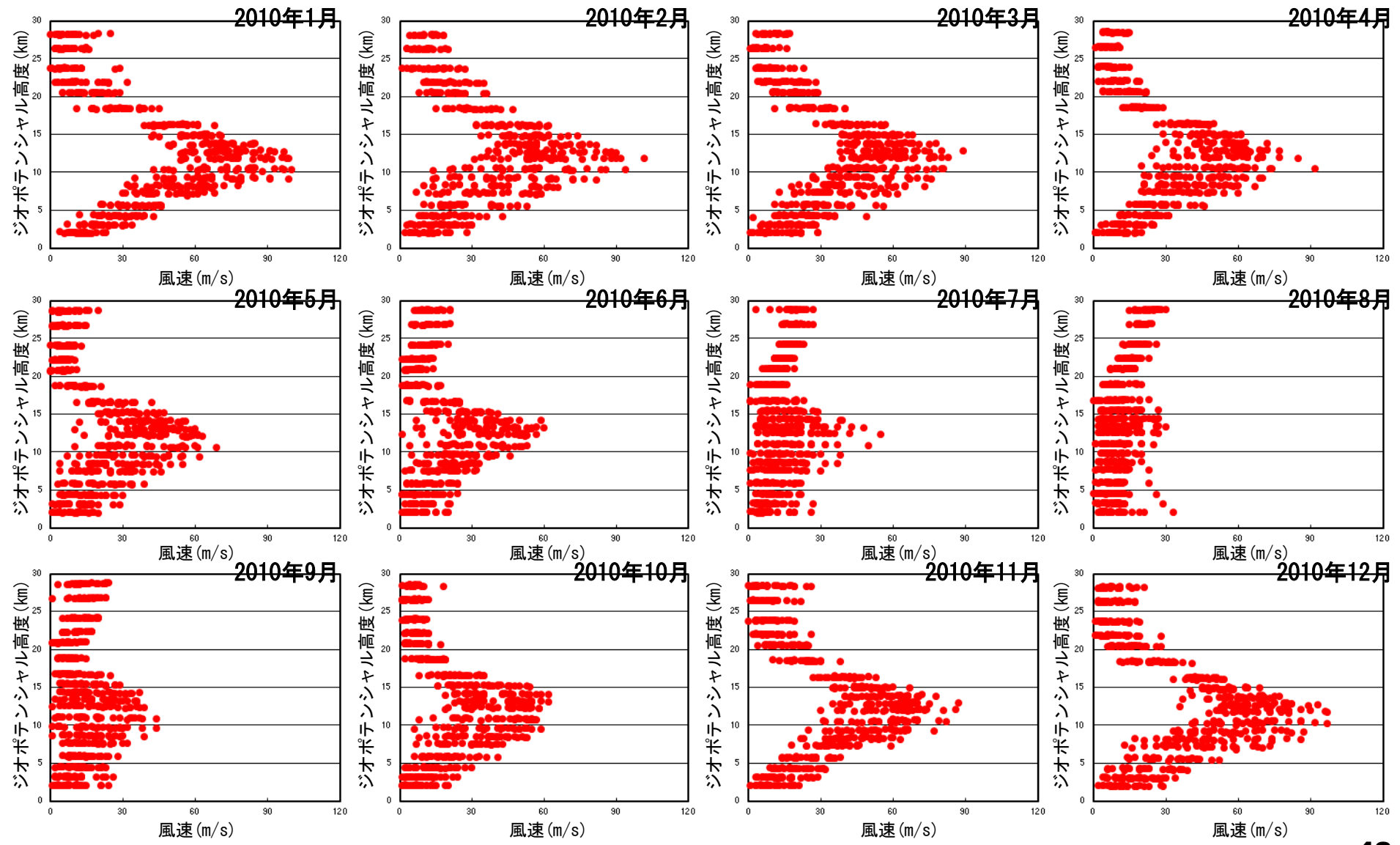
○福岡における2010年の毎日の風向を月別に表示する。全般に概ね西を示して冬は風向のばらつきが小さく、夏(7月~9月)は西を中心に風向のばらつきが著しい。



※風向は北を0°として時計回りの角度で表示

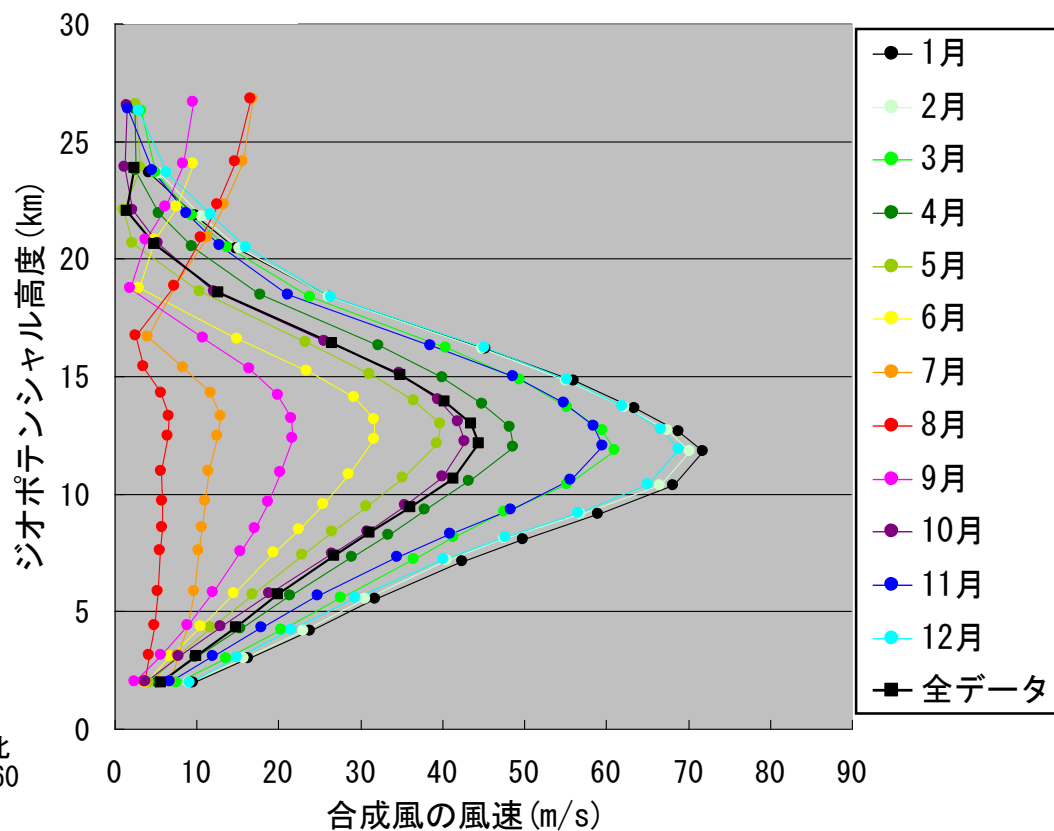
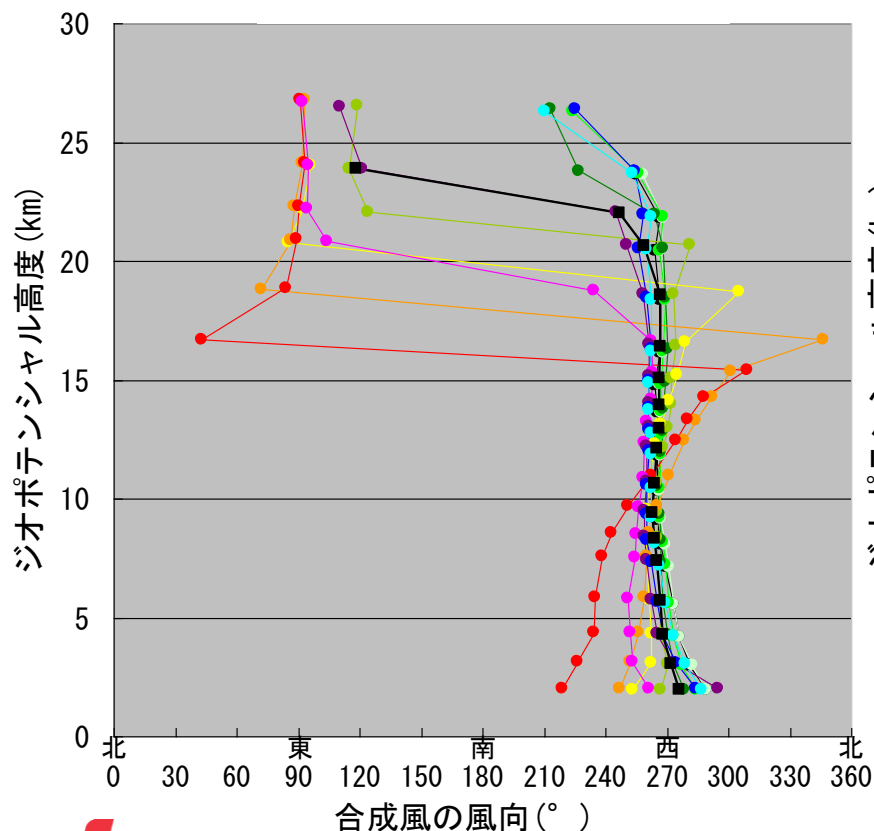
## 2. 使用するパラメータ: 風速のばらつき

○福岡における2010年の毎日の風速を月別に表示する。ジェット気流の卓越する高度約10km～約15kmに着目すると、風向が比較的安定する10月～6月に風が強く、風向が著しくばらつく7月～9月に風が弱い。



## 2. 使用するパラメータ: 月別平年値(季節ごとの風)の特徴

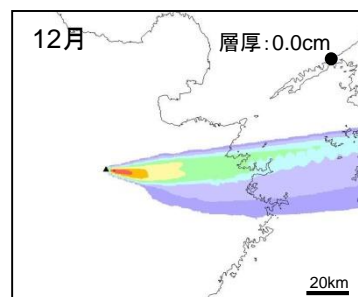
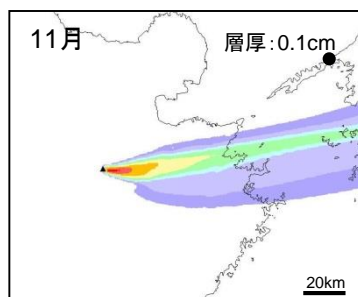
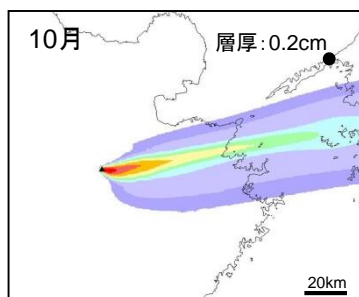
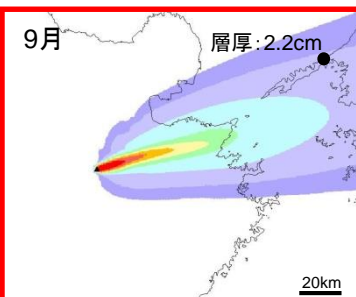
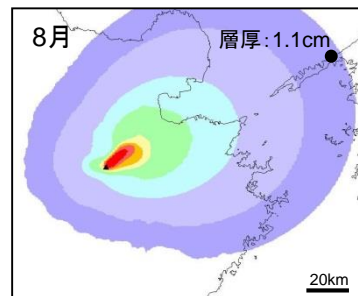
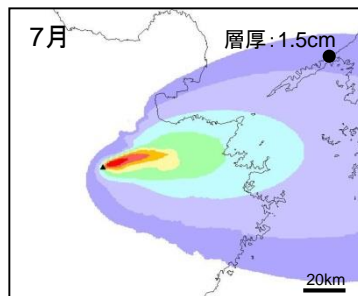
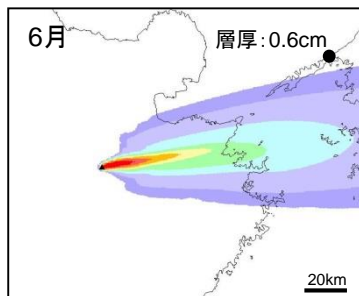
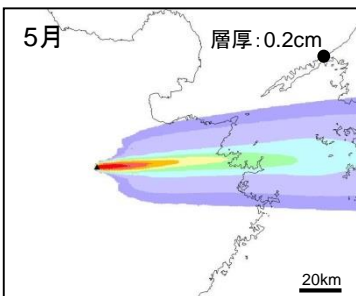
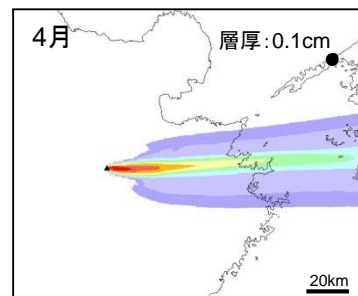
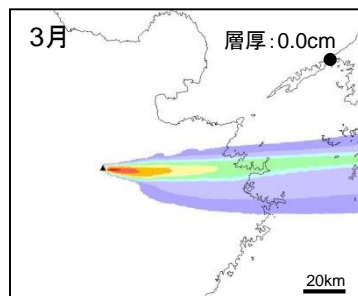
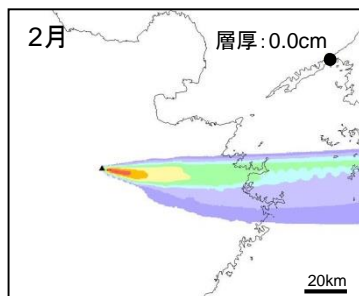
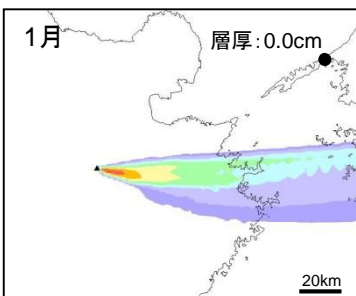
- 福岡における風の月別平年値(季節ごとの風)を下図に示す。
- 10月～6月には、風向は各高度ともほぼ真西で安定しており、風速は高さ約12kmのジェット気流で30m/s～70m/sと大きい。
- 7月～9月には、風向は高さ10km以下で真西から外れて西南西方向に近づき、風速は高さ約12kmのジェット気流で30m/s未満と小さい。



※風向は北を0°として時計回りの角度で表示

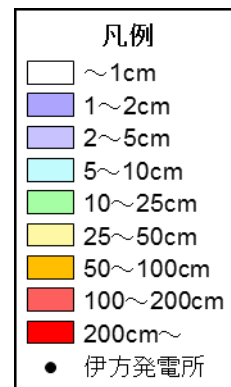
### 3. 基本ケースの選定

- 月別平年値の風を用いた九重第一軽石の降下火山灰シミュレーションによると、ジェット気流がほぼ真西で安定して風が強い10月～6月は九重山から東方へ厚く降下する領域が細長くのび、敷地より南方に降下するため敷地における降下厚さは0.0～0.6cmと評価される。
- ジェット気流が弱まり風向が著しくばらつく7月～9月について、月別平年値の風が解析領域内で一定と保守的に仮定して解析すると、風が弱いため厚く降下する領域が九重山近傍に留まり、敷地において1～2cm程度の火山灰厚さと評価される。
- 敷地において2.2cmと最も厚い結果となる9月を基本ケースに選定する。



各月の平年値の風向・風速を用いた降下火山灰シミュレーションの結果、敷地における平均の厚さは0.5cmと評価される。

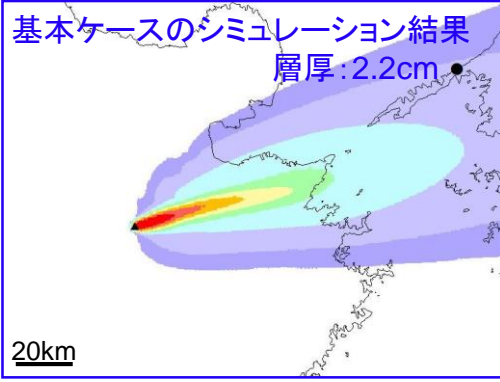
9月の降下厚さが最も厚く、敷地において約2cm程度と評価される。





# 3. 不確かさの考慮

○九重第一軽石について、敷地における火山灰厚さが最大の2.2cmとなる9月の平年値の風を用いたシミュレーションを保守的に基本ケースとし、さらに各種の不確かさを考慮して火山灰厚さへの影響について検討する。  
○なお、念のため、噴煙柱高さの不確かさによる火山灰厚さへの影響についても併せて検討する。



凡例

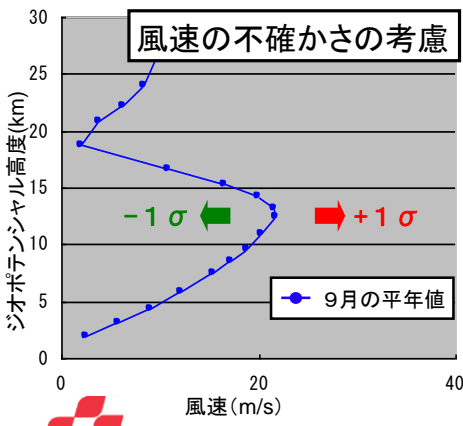
□	~1cm
■	1~2cm
■	2~5cm
■	5~10cm
■	10~25cm
■	25~50cm
■	50~100cm
■	100~200cm
■	200cm~

● 伊方発電所

**基本ケース**  
9月の平年値の風，噴煙柱高さ25km

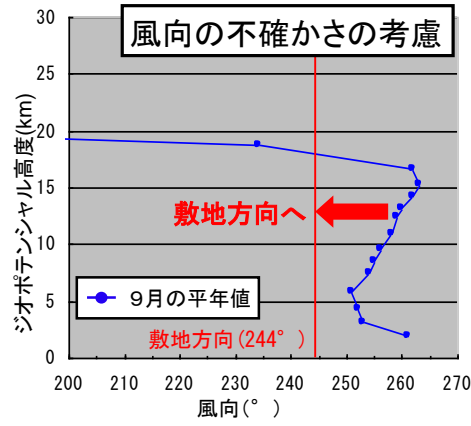
**不確かさ①<風速>**  
風速 ± 1σ

※風速のばらつきによる影響を検討する。



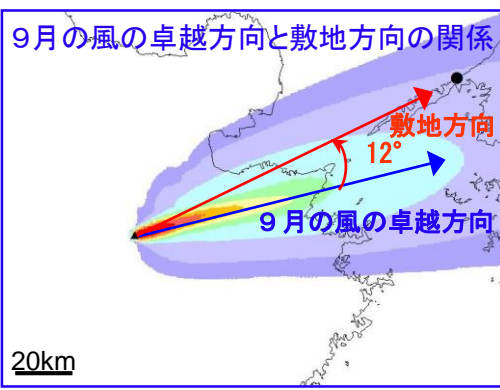
**不確かさ②<風向>**  
風向のばらつき

※9月の風の卓越方向が敷地方向と12° 差とやや近く、かつ風向が大きくばらつくことを踏まえ、9月の観測データから敷地方向に吹く風を合成して検討する。



**不確かさ③<噴煙柱高さ>**  
噴煙柱高さ ± 5km

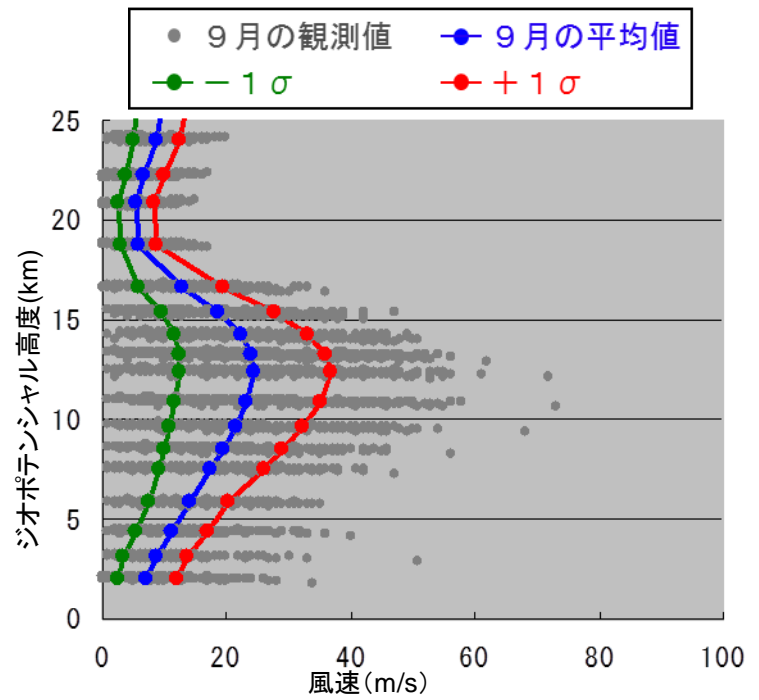
※「大きい噴火では噴煙の高さがほとんど決まらない」ことが問題点として挙げられている(萬年, 2013)ことを踏まえ、念のため、噴煙柱の高低による影響を検討する。



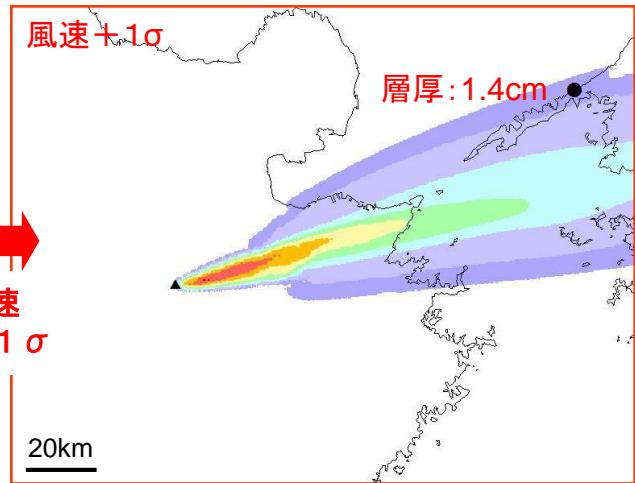
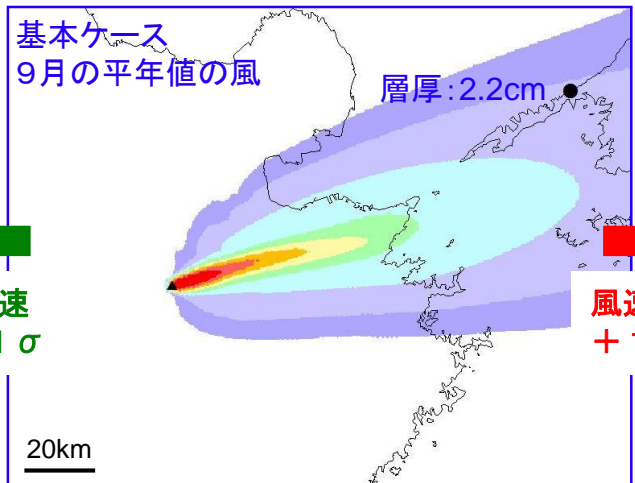
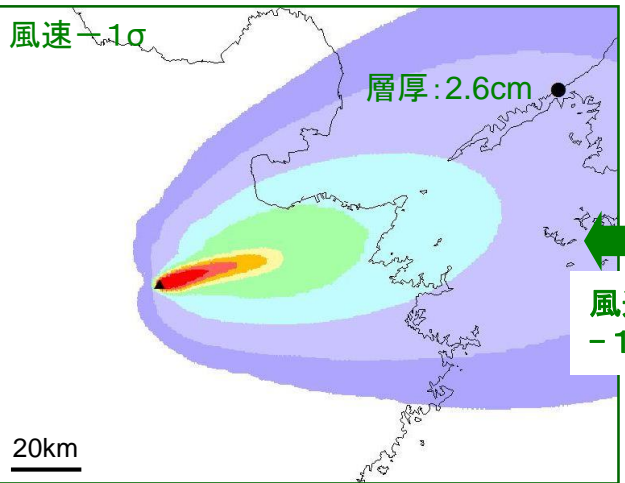
### 3. 風速の影響の検討(不確かさの考慮①)

○風速の不確かさとして $-1\sigma$ ,  $+1\sigma$ について検討した結果, 伊方発電所における火山灰厚さはそれぞれ2.6cm, 1.4cmと評価される。

○風速が大きいほど指向性が強く遠くまで細長く堆積し, 風速が小さいほど指向性が弱く近くに広く堆積する。

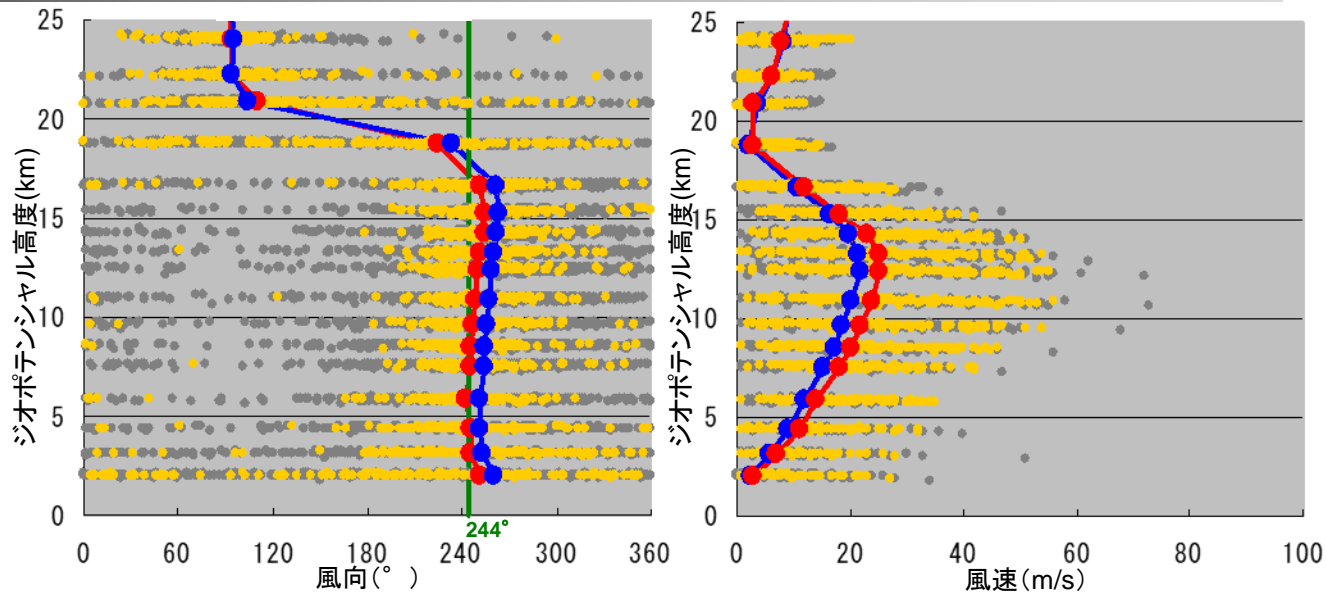


凡例			
□ ~1cm	□ 5~10cm	□ 50~100cm	● 伊方発電所
□ 1~2cm	□ 10~25cm	□ 100~200cm	
□ 2~5cm	□ 25~50cm	□ 200cm~	

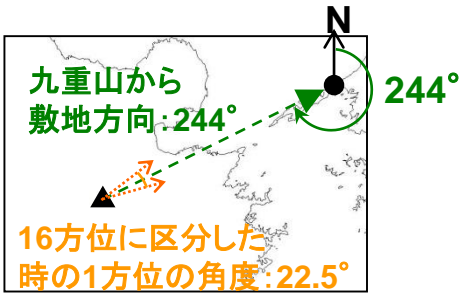


# 3. 風向の影響の検討(不確かさの考慮②)

○風向の不確かさとして、9月の風の卓越方向が敷地方向とやや近く、かつ風向が大きくばらつくことを踏まえ、9月の観測データから敷地方向の風を作成して検討した結果、伊方発電所における火山灰厚さは4.5cmと評価される。

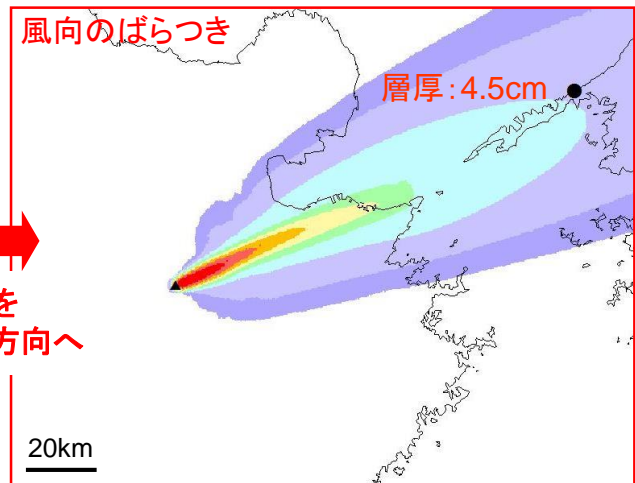
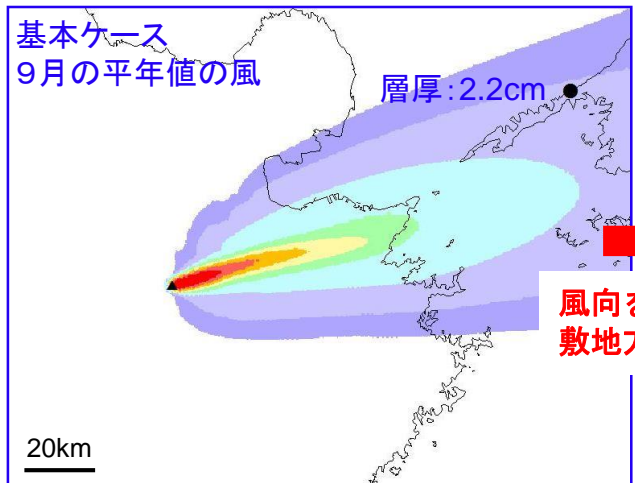


- 9月の観測値 (全データ)
- 9月の観測値 (敷地方向の風)
- 9月の観測値 (年平均)
- 敷地方向の風 (合成風)



※9月の観測値のうち、敷地方向の風を抽出し、シミュレーションに用いる風を作成した。

凡例	
□	~1cm
□	1~2cm
□	2~5cm
□	5~10cm
□	10~25cm
□	25~50cm
□	50~100cm
□	100~200cm
□	200cm~
●	伊方発電所



風向を敷地方向へ

### 3. 噴煙柱高さの影響の検討(不確かさの考慮③)

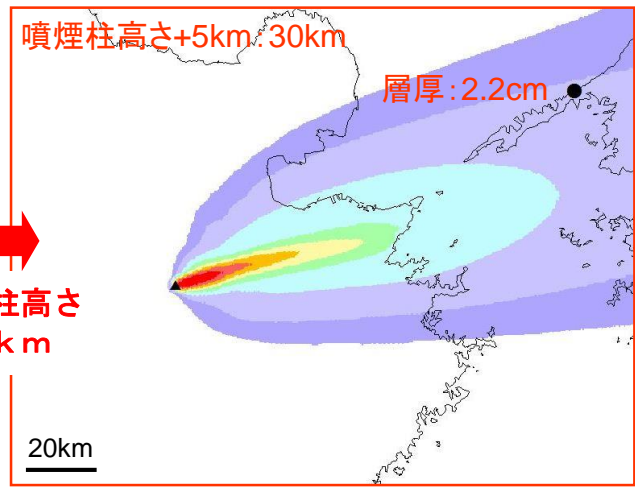
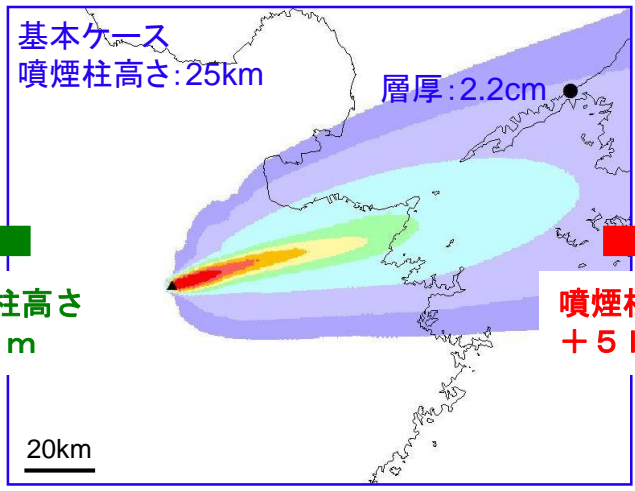
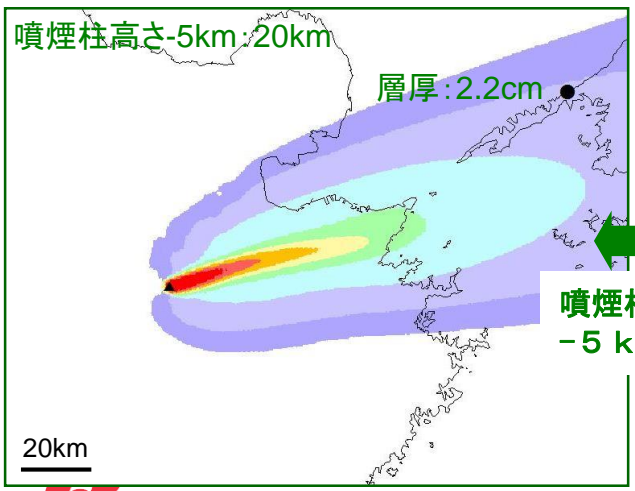
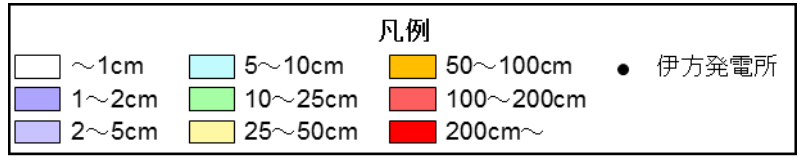
○噴煙柱高さの不確かさとして-5km, +5kmについて検討した結果, いずれの検討ケースにおいても伊方発電所における火山灰厚さは約2.2cmとほぼ同等で噴煙柱高さの影響は小さい。

※一般に, VEI5(1~10km<sup>3</sup>)の噴火における噴煙柱高さは25km以上とされており(町田・新井, 2011), 九重第一軽石が指向性が強く細長く堆積していることから比較的噴煙柱高さが低かったと推定し, 基本ケースでは噴煙柱高さを25kmとしている。

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 (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 →				
					← テフクロロジーに利用				
	← 高頻度								→ 低頻度

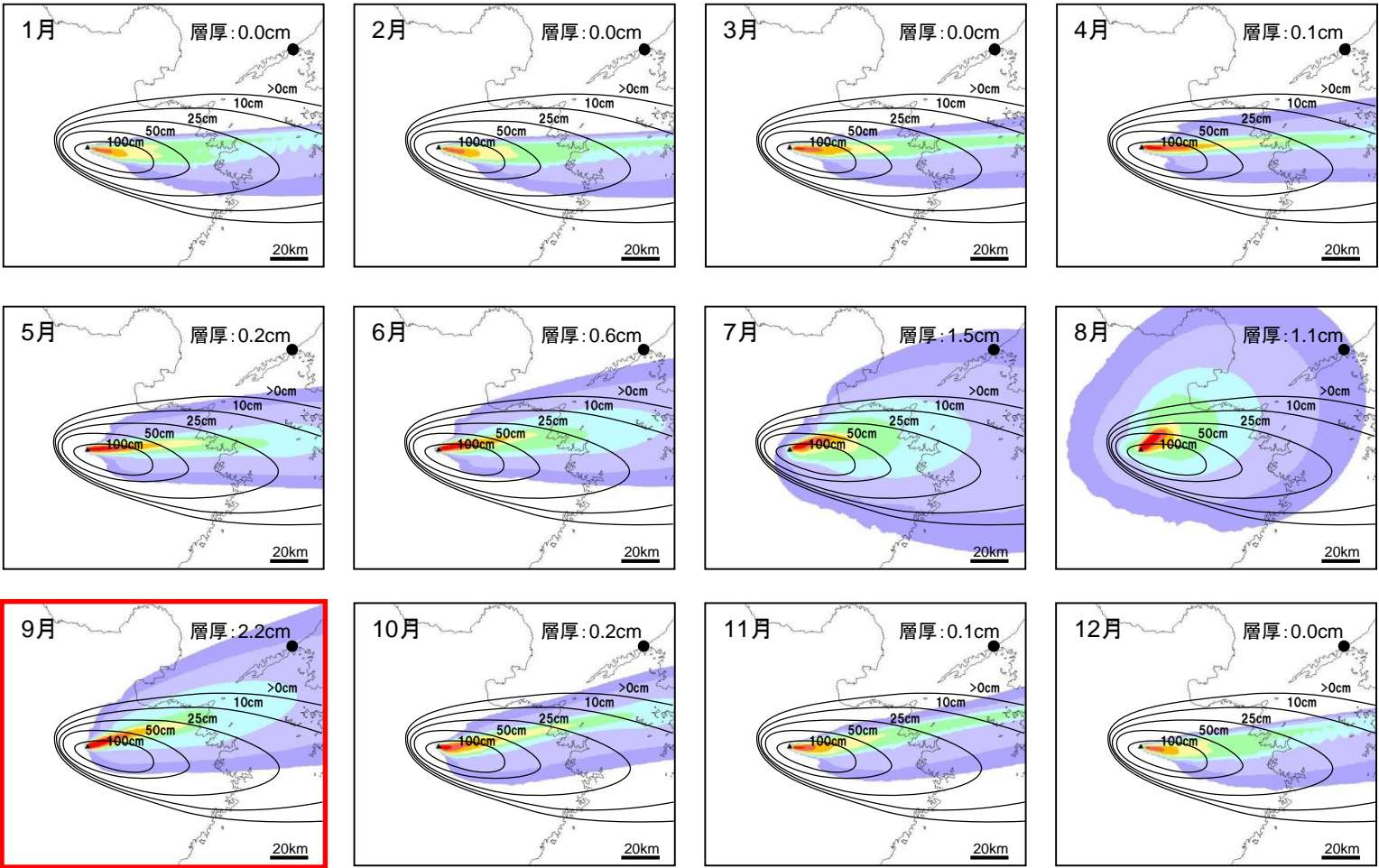
「新編 火山灰アトラス[日本列島とその周辺](町田・新井, 2011)より抜粋





# 4. 解析結果の妥当性確認

- 降下火山灰シミュレーションに用いた噴出量 $2.03\text{km}^3$ を求める根拠として示された須藤ほか(2007)による等層厚線図と解析結果を比較する。
- 解析結果において、ジェット気流がほぼ真西で安定して風が強い季節には四国南西方まで降下厚さ10cm以上の領域が細長く伸びることから給源から遠方(敷地相当)への火山灰到達を概ね再現できている。一方、給源付近については、厚い火山灰が降下する領域の面積がやや小さい傾向がある。基本ケースとして選定した9月は須藤ほか(2007)による0cm以上の等層厚線の形状と整合するものの、給源付近でやや小さい傾向は同様である。



ほぼ真東に長軸を有して火山灰が降下する冬季に着目すると、四国南西方まで降下厚さ10cm以上の領域が細長く伸びる。一方、給源付近の厚い火山灰が降下する領域の面積が小さい傾向がある。





# 九重第一軽石の噴出量に関する最近の報告

○九重第一軽石の噴火規模については「新編 火山灰アトラス」(町田・新井, 2011)にも記載がなく、これまで町田・新井(1992)の等層厚線図を基に噴出量を見積もった須藤ほか(2007)による $2.03\text{km}^3$ が示されてきた。

○最近、月刊地球2014年08月号(雑誌)に九重第一軽石の噴出量として $6.2\text{km}^3$ が示された(長岡・奥野, 2014)。

○噴出量を $2.03\text{km}^3$ とした解析結果が給源付近ではやや小さい傾向にあることを踏まえ、噴出量を既存の知見より大きく $6.2\text{km}^3$ とした場合の解析を行う。

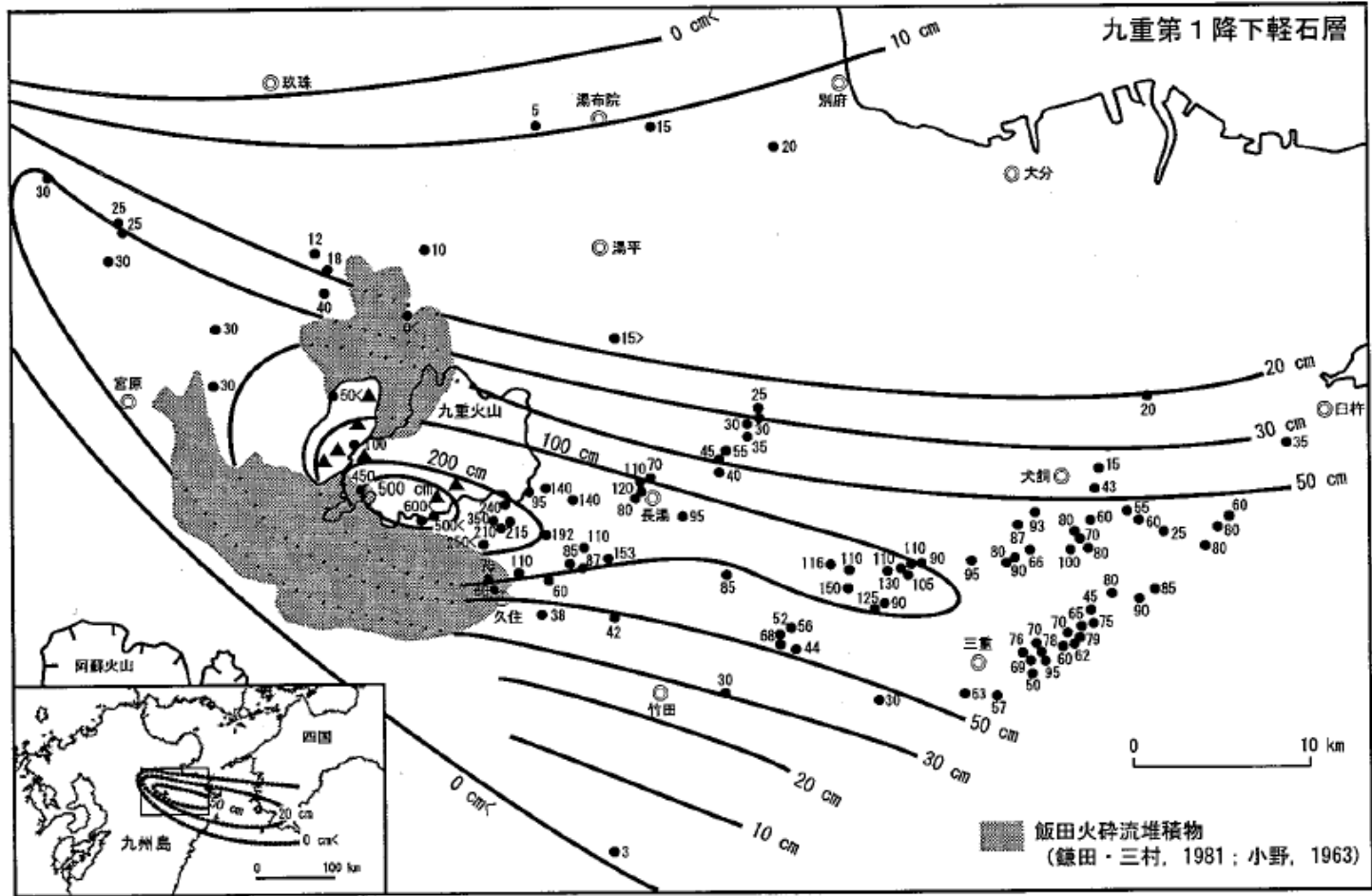


図7 九重第1降下軽石層の分布図(cm)と飯田火砕流堆積物の分布。

【長岡・奥野(2014)より抜粋】

「九重第一降下軽石層(Kj-P1)

Kj-P1は、基本的に飯田火砕流の堆積域には見られない(図7)。Kj-P1は東南東の分布軸を持って主に九重火山東方に分布し、150km離れた高知県南西部まで達している(熊原・長岡, 2002)。分布(図7)から給源は九重火山南西部で、見かけ体積は $6.2\text{km}^3$ である。」

# 降下火山灰シミュレーションの解析方針(噴出量6.2km<sup>3</sup>)

○噴出量を2.03km<sup>3</sup>とした解析結果が給源付近ではやや小さい傾向にあることを踏まえ、噴出量を既存の知見より大きく6.2km<sup>3</sup>とした場合の解析を行う。

○解析コード: Tephra2(移流拡散モデル)

○用いたパラメータ

イベント名	パラメータ	単位	値	設計資料等
九重第一 軽石	噴出量	km <sup>3</sup>	6.2	長岡・奥野(2014)による九重第一軽石の噴出量6.2km <sup>3</sup> を参照して設定
	噴煙柱高度	m	25000	下鶴ほか編(2008)によるVEI5の噴煙柱高度(25km<)より設定
	平均粒径	mm	1/2 <sup>4.5</sup>	Tephra2推奨値(プリニー式噴火, 1980年セントヘレンズVEI5:1/2 <sup>4.5</sup> )より設定
	粒径分散	mm	1/2 <sup>3.0</sup>	Tephra2推奨値(プリニー式噴火, 1980年セントヘレンズVEI5:1/2 <sup>3.0</sup> )より設定
	給源(北緯)	-	33° 5' 9"	日本活火山総覧(第4版)(気象庁, 2013)より設定
	給源(東経)	-	131° 14' 56"	
	給源(標高)	m	1791	
	Fall Time Threshold	s	3600	萬年(2013)より設定
	岩石密度	t/m <sup>3</sup>	2.6	Tephra2推奨値より設定
	軽石粒子密度	t/m <sup>3</sup>	1.0	Tephra2推奨値より設定
	拡散係数	-	200	Tephra2初期値, 萬年(2013)より設定
	渦拡散係数	-	0.04	Suzuki(1983)より設定
	最大粒径	mm	1/2 <sup>-10</sup>	Tephra2推奨値(珪長質:-10)より設定
	最小粒径	mm	1/2 <sup>10</sup>	Tephra2推奨値(珪長質:10)より設定
	風向	m/s	月別平年値	福岡における高層気象観測データ(「高層気象観測年報」収録)より設定*
風速	°	月別平年値	福岡における高層気象観測データ(「高層気象観測年報」収録)より設定*	

\*福岡と鹿児島に高層の風データがあり、両者に大きな差がないことを確認したうえで福岡の風データを使用

## 5. 解析方針

1月~12月の月別平年値の風による敷地での降下火山灰厚さを評価する。12か月の中で敷地で最も厚い火山灰厚さとなる月の風を用いたシミュレーションを保守的に基本ケースとし、さらに各種の不確かさを考慮して敷地における火山灰厚さへの影響について検討する。

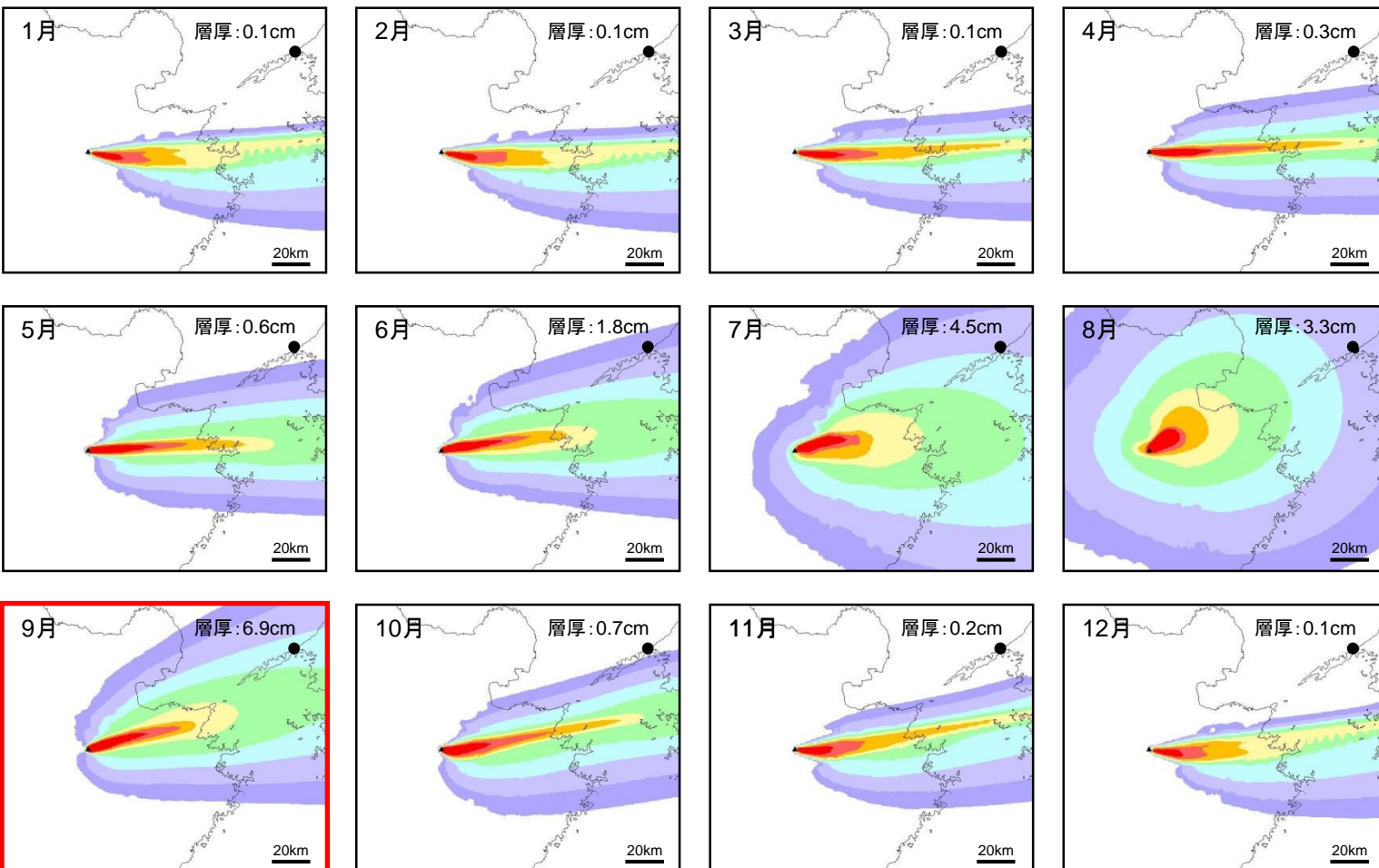
- ①風速±1σ(風速のばらつきによる影響を検討)
- ②ばらつきを考慮して風向を敷地方向へ近づける(風向のばらつきによる影響を検討)
- ③噴煙柱高さ±5km(噴煙柱の高低による影響を検討)

## 6. 解析結果の妥当性確認

九重第一軽石の等層厚線図と解析結果を比較する。

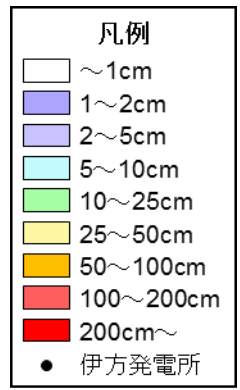
# 5. 基本ケースの選定(噴出量 $6.2\text{km}^3$ )

- 噴出量を $6.2\text{km}^3$ とし、月別平年値の風を用いた九重第一軽石の降下火山灰シミュレーションによると、ジェット気流がほぼ真西で安定して風が強い10月～6月は九重山から東方へ厚く降下する領域が細長くのび、敷地より南方に降下するため敷地における降下厚さは $0.1\sim 1.8\text{cm}$ と評価される。
- ジェット気流が弱まり風向が著しくばらつく7月～9月について、月別平年値の風が解析領域内で一定と保守的に仮定して解析すると、風が弱いため厚く降下する領域が九重山近傍に留まり、敷地において $3\sim 7\text{cm}$ 程度の火山灰厚さと評価される。
- 敷地において $6.9\text{cm}$ と最も厚い結果となる9月を基本ケースに選定する。



各月の平年値の風向・風速を用いた降下火山灰シミュレーションの結果、敷地における平均の厚さは $1.5\text{cm}$ と評価される。

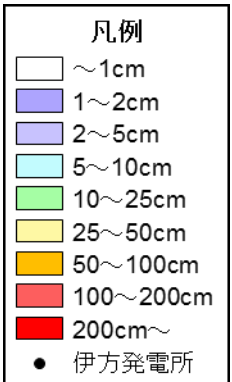
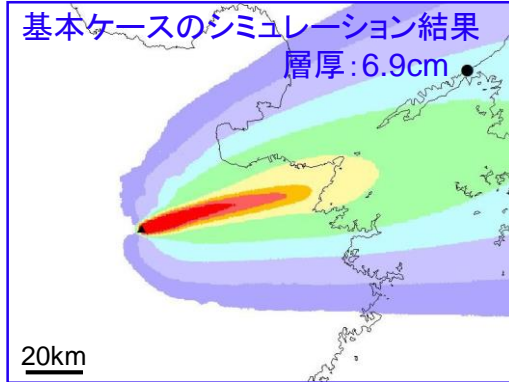
9月の降下厚さが最も厚く、敷地において約 $7\text{cm}$ 程度と評価される。



# 5. 不確かさの考慮(噴出量6.2km<sup>3</sup>)

○九重第一軽石について、敷地における火山灰厚さが最大の6.9cmとなる9月の平年値の風を用いたシミュレーションを保守的に基本ケースとし、さらに各種の不確かさを考慮して火山灰厚さへの影響について検討する。

○なお、念のため、噴煙柱高さの不確かさによる火山灰厚さへの影響についても併せて検討する。



## 基本ケース

9月の平年値の風, 噴煙柱高さ25km

不確かさ①<風速>  
風速±1σ

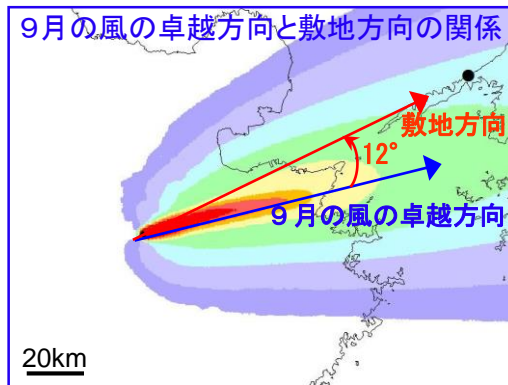
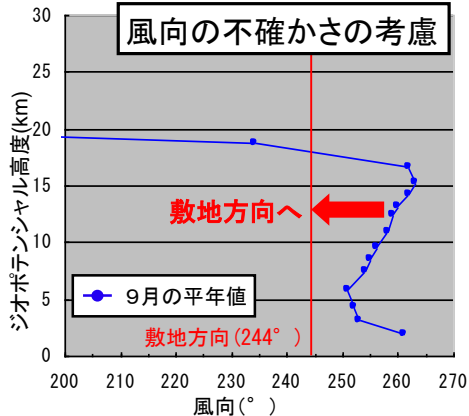
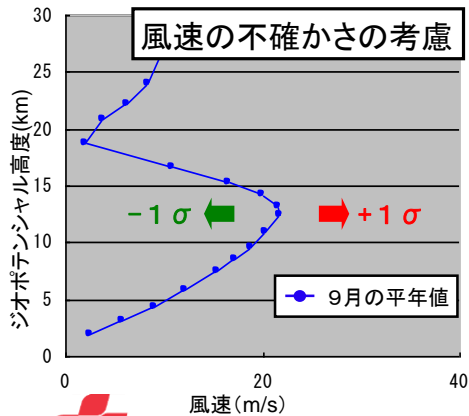
※風速のばらつきによる影響を検討する。

不確かさ②<風向>  
風向のばらつき

※9月の風の卓越方向が敷地方向と12° 差とやや近く、かつ風向が大きくばらつくことを踏まえ、9月の観測データから敷地方向に吹く風を合成して検討する。

不確かさ③<噴煙柱高さ>  
噴煙柱高さ±5km

※「大きい噴火では噴煙の高さがほとんど決まらない」ことが問題点として挙げられている(萬年, 2013)ことを踏まえ、念のため、噴煙柱の高低による影響を検討する。

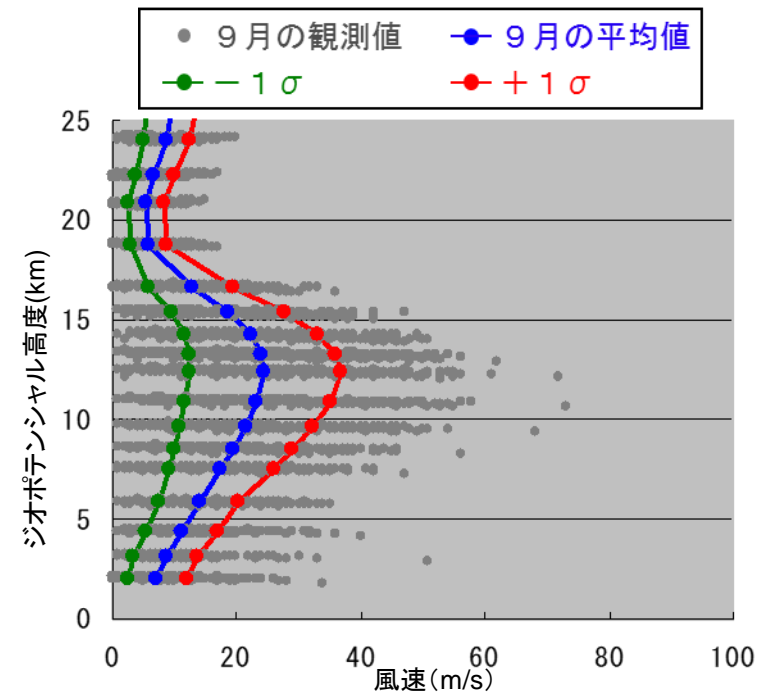




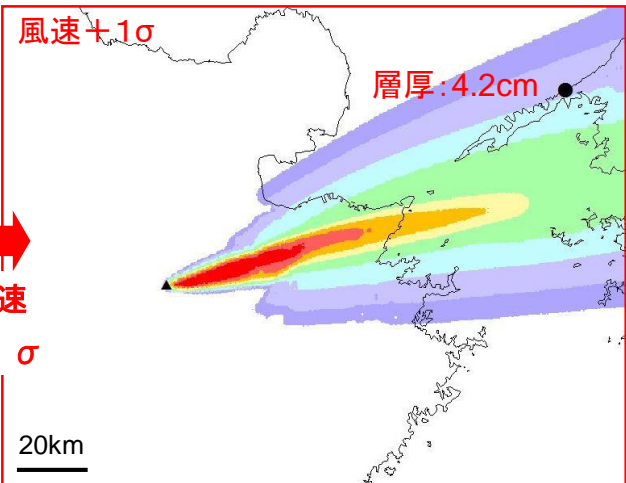
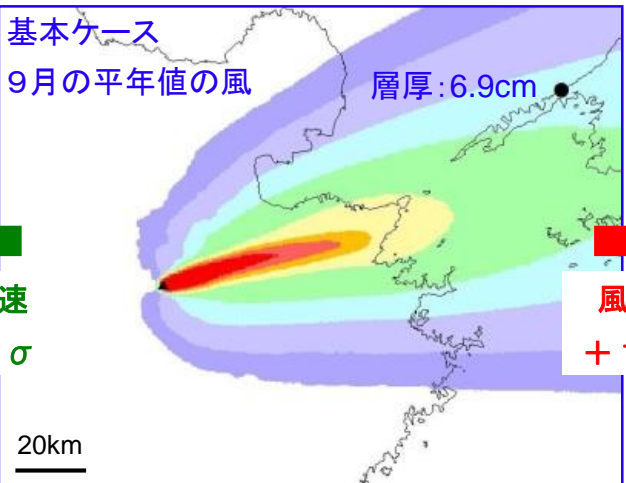
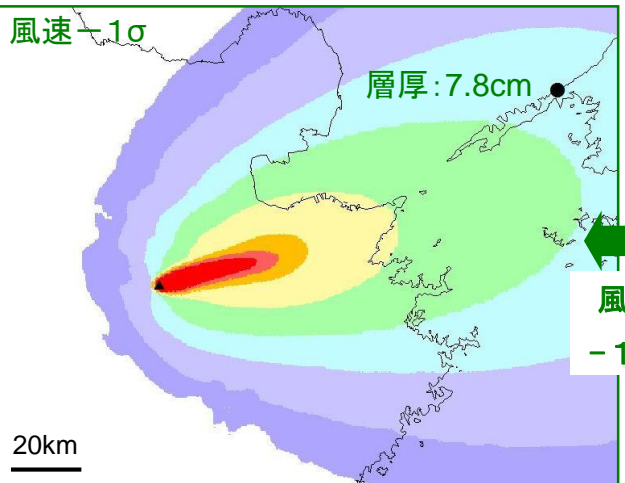
# 5. 風速の影響の検討(噴出量6.2km<sup>3</sup>)

○風速の不確かさとして $-1\sigma$ ,  $+1\sigma$ について検討した結果, 伊方発電所における火山灰厚さはそれぞれ7.8cm, 4.2cmと評価される。

○風速が大きいほど指向性が強く遠くまで細長く堆積し, 風速が小さいほど指向性が弱く近くに広く堆積する。

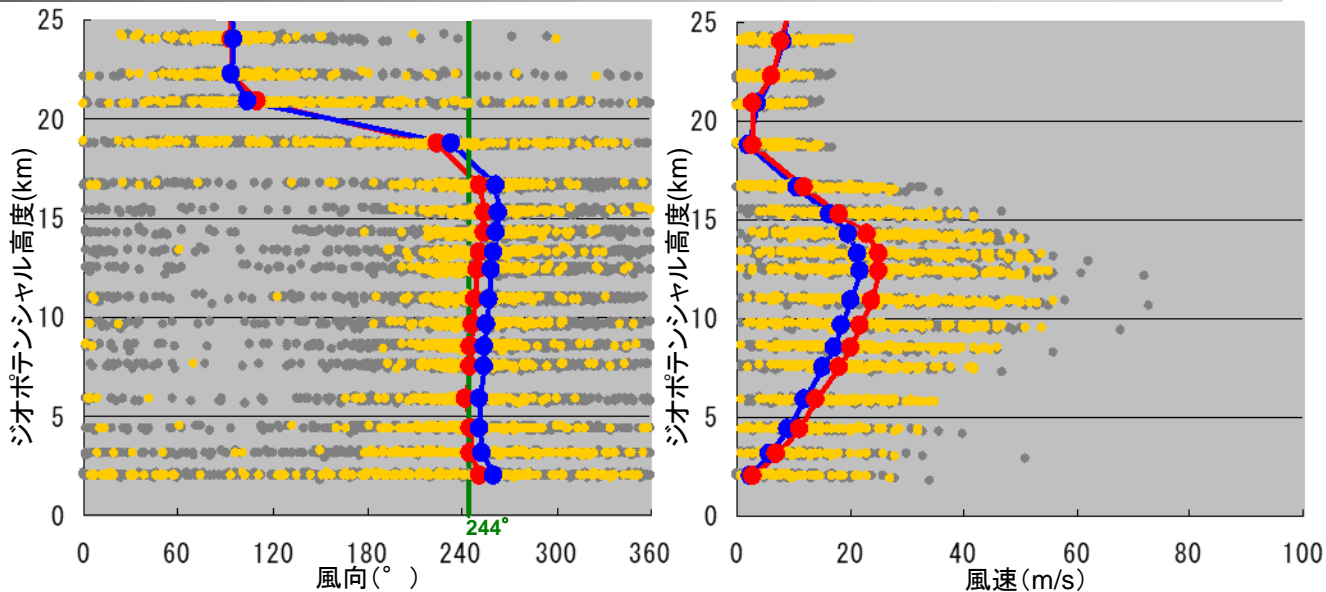


凡例			● 伊方発電所
□ ~1cm	□ 5~10cm	□ 50~100cm	
□ 1~2cm	□ 10~25cm	□ 100~200cm	
□ 2~5cm	□ 25~50cm	□ 200cm~	

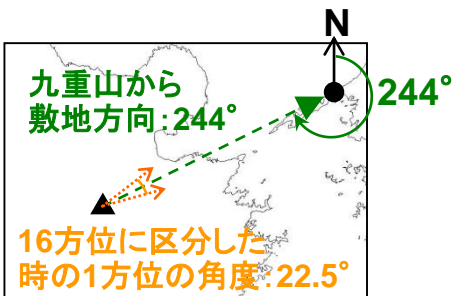


# 5. 風向の影響の検討(噴出量6.2km<sup>3</sup>)

○風向の不確かさとして、9月の風の卓越方向が敷地方向とやや近く、かつ風向が大きくばらつくことを踏まえ、9月の観測データから敷地方向の風を作成して検討した結果、伊方発電所における火山灰厚さは14.0cmと評価される。

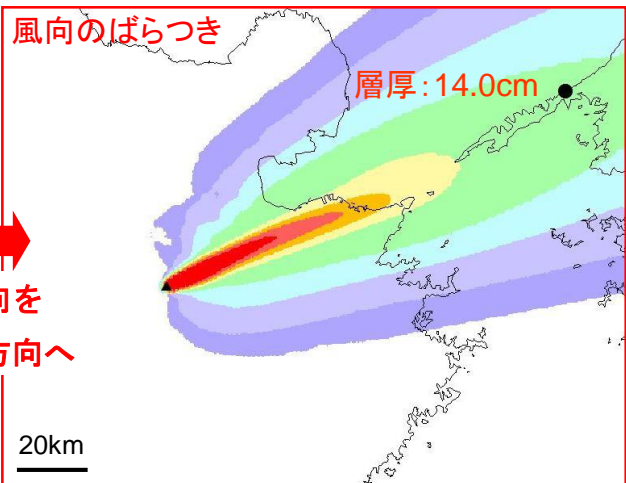
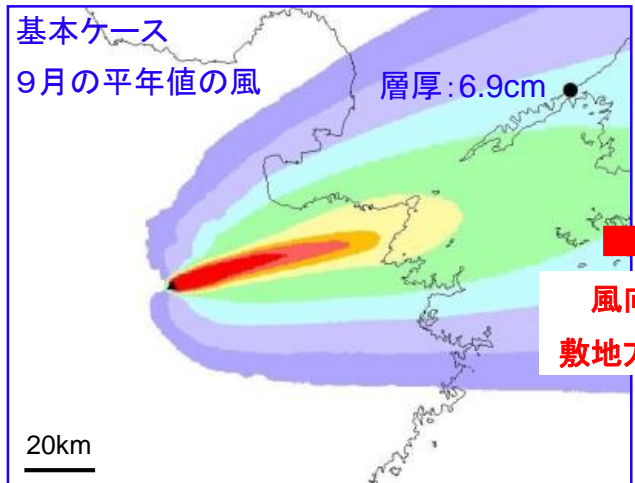


- 9月の観測値 (全データ)
- 9月の観測値 (敷地方向の風)
- 9月の平年値
- 敷地方向の風 (合成風)



※9月の観測値のうち、敷地方向の風を抽出し、シミュレーションに用いる風を作成した。

凡例	
□	~1cm
□	1~2cm
□	2~5cm
□	5~10cm
□	10~25cm
□	25~50cm
□	50~100cm
□	100~200cm
□	200cm~
●	伊方発電所



風向を敷地方向へ

# 5. 噴煙柱高さの影響の検討(噴出量6.2km<sup>3</sup>)

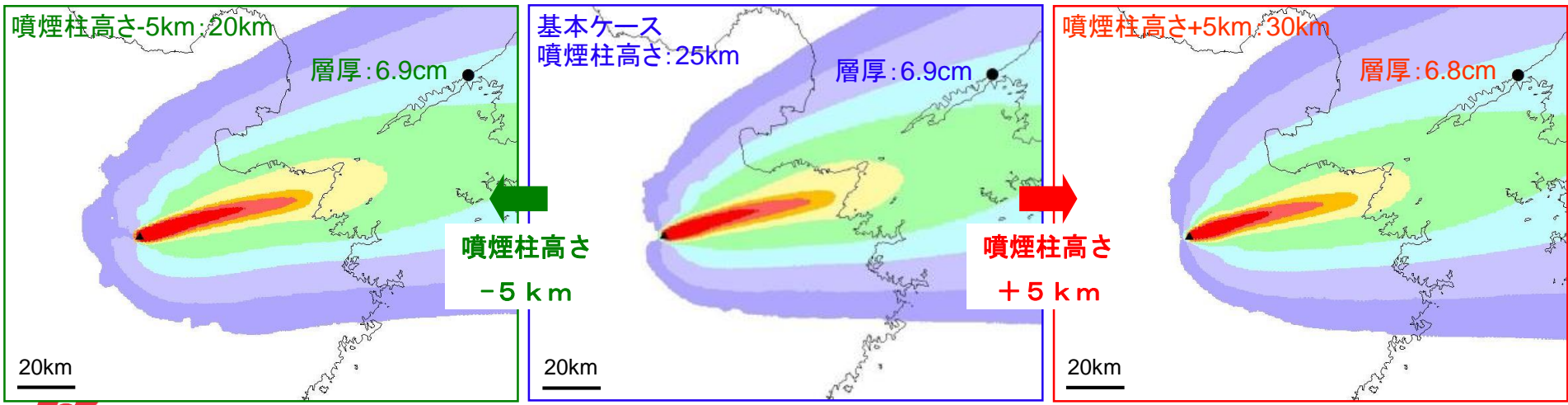
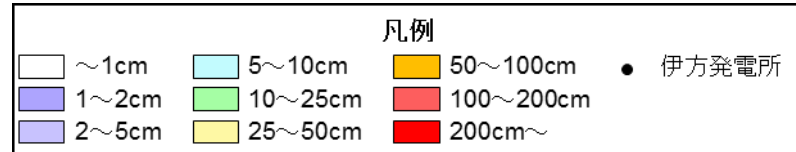
○噴煙柱高さの不確かさとして-5km, +5kmについて検討した結果, いずれの検討ケースにおいても伊方発電所における火山灰厚さは約7cmとほぼ同等で噴煙柱高さの影響は小さい。

※一般に, VEI5(1~10km<sup>3</sup>)の噴火における噴煙柱高さは25km以上とされており(町田・新井, 2011), 九重第一軽石が指向性が強く細長く堆積していることから比較的噴煙柱高さが低かったと推定し, 基本ケースでは噴煙柱高さを25kmとしている。

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

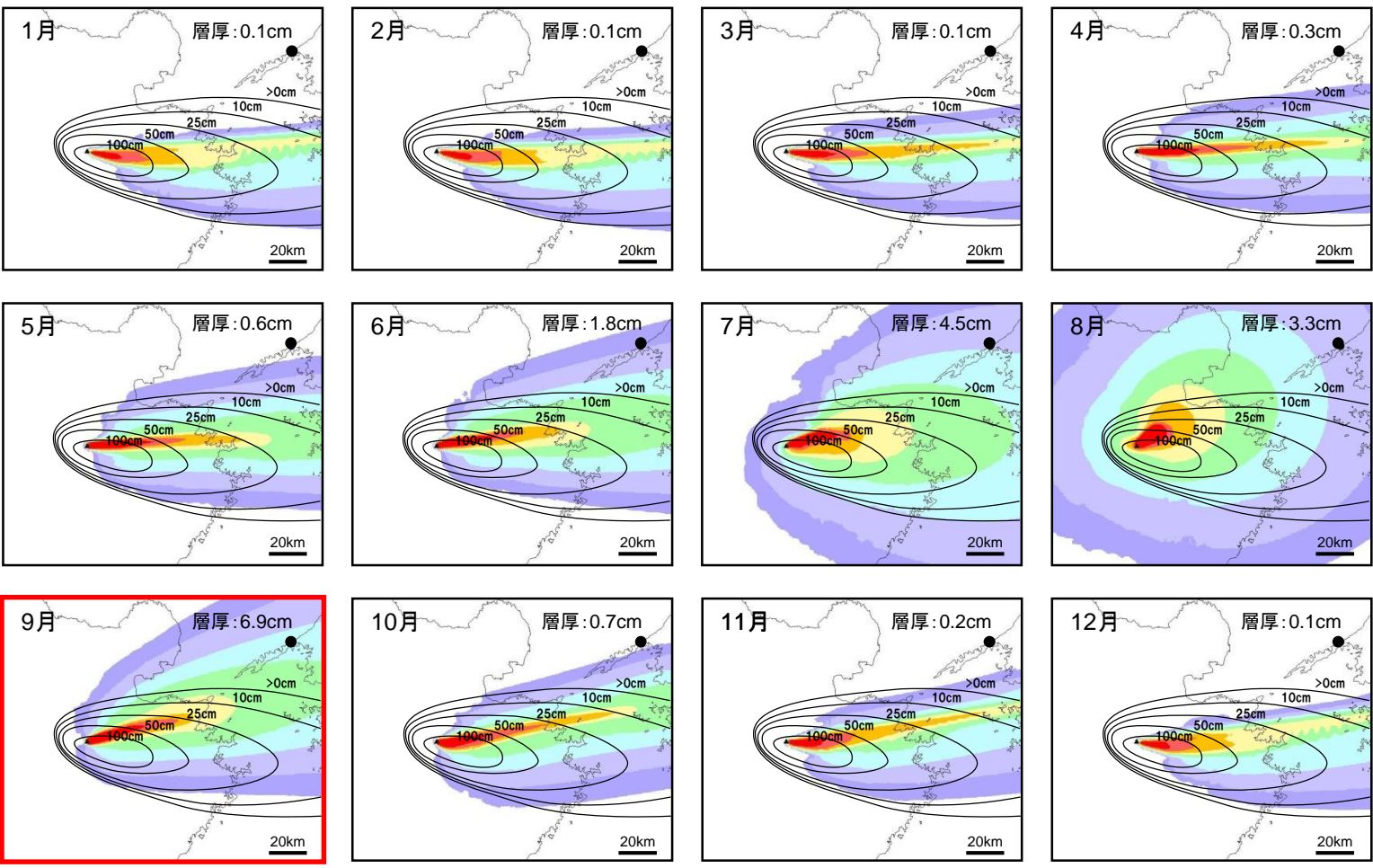
VEI	1	2	3	4	5	6	7	8
噴出物総体積 (km <sup>3</sup> )	0.0001 ~	0.001 ~	0.01 ~	0.1 ~	1 ~	10 ~	100 ~	1000~
噴煙柱高度 (km)	0.001 0.1~1	0.01 1~5	0.1 3~15	1 10~25	10 >25	100	1000	
	小噴火	中噴火		大噴火	——巨大噴火——	破局的噴火		
					爆発的噴火 →			
					← テフロクロロジーに利用			
	← 高頻度				→ 低頻度			

「新編 火山灰アトラス[日本列島とその周辺](町田・新井, 2011)より抜粋



# 6. 解析結果の妥当性確認(噴出量6.2km<sup>3</sup>)

○解析結果を須藤ほか(2007)による等層厚線図と比較する。  
 ○解析結果は、給源付近の厚い火山灰が降下する領域の広がりをおね再現できている。基本ケースとして選定した9月について、給源付近の降下厚さ50cm以上の到達距離が須藤ほか(2007)による等層厚線とよく一致する。



全般的に給源付近の厚い火山灰が降下する領域の面積とおね整合的である。

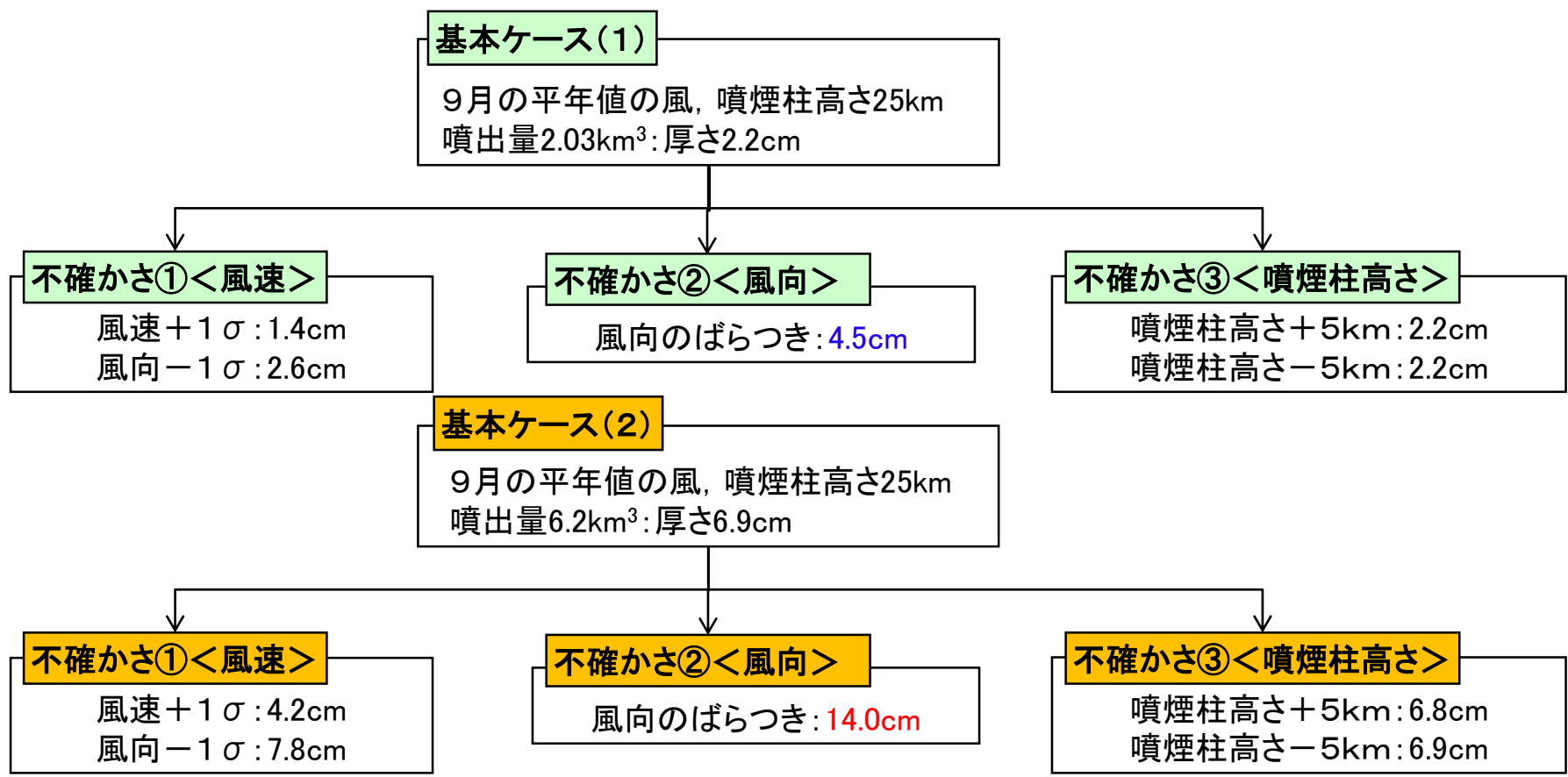




# 降下火山灰シミュレーション結果(まとめ)

○九重第一軽石の降下火山灰シミュレーションによると、ジェット気流がほぼ真西で安定する季節は敷地における降下厚さはほぼ0cmと評価され、各種の不確かさを考慮すると敷地において**最大4.5cm**と評価される。九重第一軽石の等層厚線図と解析結果を比較すると、四国南西方まで降下厚さ10cmの領域が細長く伸びることから給源から遠方(敷地相当)への火山灰到達を概ね再現できているものの、給源付近の降下厚さについてはやや小さい傾向がある。

○そこで、噴出量を既存の知見より大きく6.2km<sup>3</sup>とした場合の解析を行った結果、ジェット気流がほぼ真西で安定する季節は敷地における降下厚さは0~数cmと評価され、各種の不確かさを考慮すると敷地において**最大14cm**と評価される。九重第一軽石の等層厚線図と解析結果を比較すると、基本ケースとして選定した9月について、給源付近の降下厚さ50cm以上の到達距離がよく一致する。



## II. 1. 地理的領域(半径160kmの範囲)に分布する第四紀火山の抽出

42火山

## II. 2. 原子力発電所に影響を及ぼし得る火山の抽出

○完新世に活動を行った活火山

5火山

鶴見岳, 由布岳, 九重山, 阿蘇, 阿武火山群

○将来の活動可能性が否定できない火山

2火山

姫島, 高平火山群

○将来の活動可能性のない火山

35火山

## II. 3. 抽出された火山の火山活動に関する個別評価

○抽出された火山の活動性に関する個別評価

- ・阿蘇は運用期間中の噴火規模を検討し, 現在の噴火ステージにおける既往最大規模を考慮
- ・阿蘇以外の火山は既往最大規模の噴火を考慮

○設計対応不可能な火山事象

火砕物密度流・溶岩流・岩屑なだれ, 地滑り及び斜面崩壊・新しい火口の開口・地殻変動

敷地への到達なし

## III. 1. 原子力発電所の安全性に影響を与える可能性のある火山事象の抽出

○発電所に影響を与える可能性のある火山事象  
降下火砕物

○発電所に影響を与える可能性のない火山事象

火山性土石流, 火山泥流及び洪水・火山から発生する飛来物(噴石)・火山ガス・大気現象・熱水系及び地下水の異常

- ・津波及び静振は「津波評価」において影響を確認(山体崩壊を考慮)
- ・火山性地震とこれに関連する事象は「地震動評価」において影響を確認(M7.1を考慮)

## III. 2. 地理的領域外の火山による広域火山灰の評価

○広域火山灰の評価

文献調査及び地質調査による厚い火山灰は九州のカルデラ火山を起源とする広域火山灰であり, 発電所運用期間中に同規模の噴火の可能性は十分低く, 降下火砕物が敷地に影響を及ぼす可能性は十分に小さいと評価

## III. 3. 地理的領域内の火山による降下火山灰の地質調査

○地理的領域内の火山による降下火山灰の文献調査

地理的領域内の火山による降下火山灰の等層厚線図として, 九重第一軽石と草千里ヶ浜軽石が示されている

- ・九重第一軽石: 四国南西端の宿毛市で火山灰の報告あり
- ・草千里ヶ浜軽石: 四国における報告なし

○九重第一軽石に関する地質調査

- ・既存文献に示された通り, 九重第一軽石の分布の長軸は四国南西端方向であり, 敷地付近における降下厚さはほぼ0cmと評価される

## III. 4. 地理的領域内の火山による降下火山灰シミュレーション

約5万年前の九重第一軽石は当時の気象条件に応じて東南東方向へ火山灰が降下したが, 同様の噴火が起こった時に現在の気象条件を考慮して敷地にどのような降灰が想定されるかを検討する。

ジェット気流がほぼ真西で安定する季節は敷地における降下厚さはほぼ0cmと評価される。ただし, 同規模の噴火時に風向きによっては敷地において厚さ数cmの降下火山灰が想定され, さらに既存の知見よりも噴出量を大きく見積もると十数cmの降下火山灰が想定される。

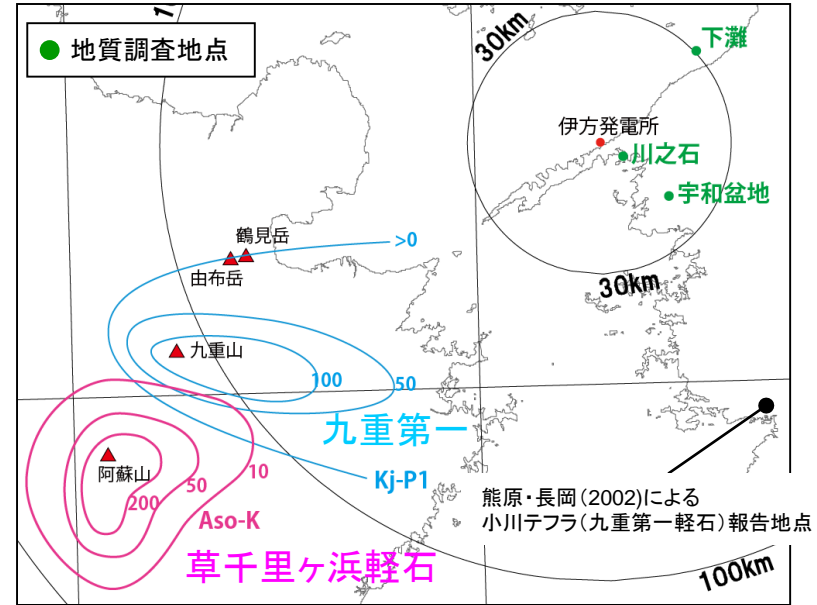
## III. 5. 設計で考慮する降下火砕物

原子力安全に対する信頼向上の観点から, 既存の知見を上回る噴出量を考慮し, 敷地において考慮すべき降下火砕物の厚さを保守的に15cmと評価する。また, 地質調査結果及び文献調査結果に基づき, 乾燥密度を0.5g/cm<sup>3</sup>, 湿潤密度を1.5g/cm<sup>3</sup>, 粒径を1mm以下主体と評価する。

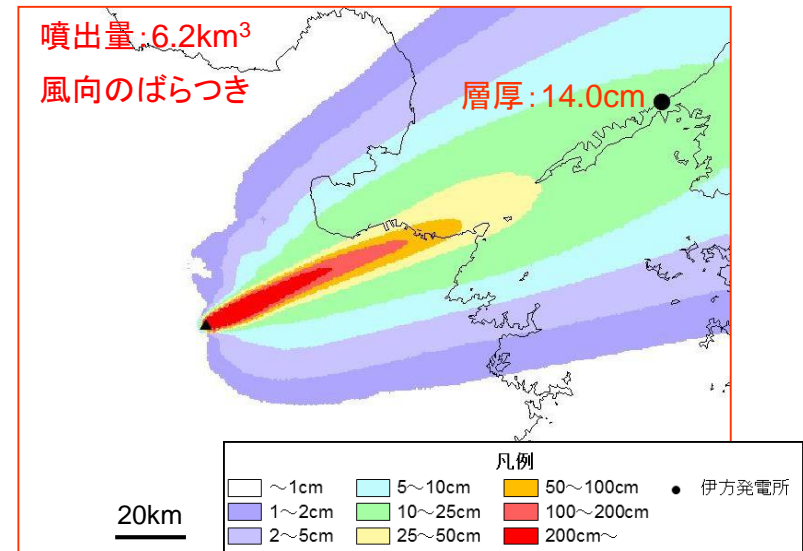
## III. 6. 影響強化(まとめ)

# 設計で考慮する降下火砕物の厚さ

- 地理的領域内の火山のうち九重山を給源とする九重第一軽石は東南東方向に細長い分布を示し、純層ではないものの四国南西端の宿毛市で火山灰の報告がある。
- 地質調査の結果、既存文献に示された通り、九重第一軽石の分布の長軸は四国南西端方向であり、敷地付近における降下厚さはほぼ0cmと評価される。また、九重第一軽石と同等の噴火が起こった時に、現在の気象条件を考慮して敷地にどのような降灰が想定されるかを降下火山灰シミュレーションによって検討した結果、ジェット気流がほぼ真西で安定する季節は敷地における降下厚さはほぼ0cmと評価される。
- ただし、同規模の噴火時に風向きによっては敷地において厚さ数cmの降下火山灰が想定され、さらに既存の知見よりも噴出量を大きく見積もると十数cmの降下火山灰が想定される。
- 原子力安全に対する信頼向上の観点から、既存の知見を上回る噴出量を考慮し、敷地において考慮すべき降下火砕物の厚さを保守的に15cmと評価する。



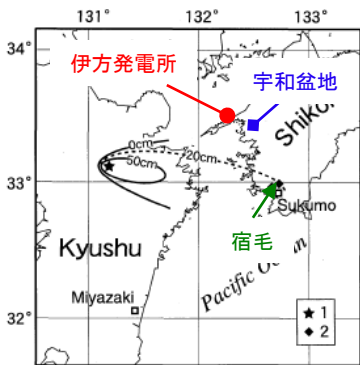
火山灰厚さの等層厚線図(町田・新井(2011)から転記)



敷地からの距離		108km	
イベント名		九重第一軽石	
イベント年代		50ka	
地質調査に基づく敷地付近の火山灰厚さ		ほぼ0cm	
噴出量		2.03km <sup>3</sup>	6.2km <sup>3</sup>
降下火山灰シミュレーションによる火山灰層厚	月別平年値の風	平均0.5cm (最大2.2cm)	平均1.5cm (最大6.9cm)
	不確かさの考慮	最大4.5cm	最大14.0cm

# 設計で考慮する降下火砕物の粒度① <文献調査結果>

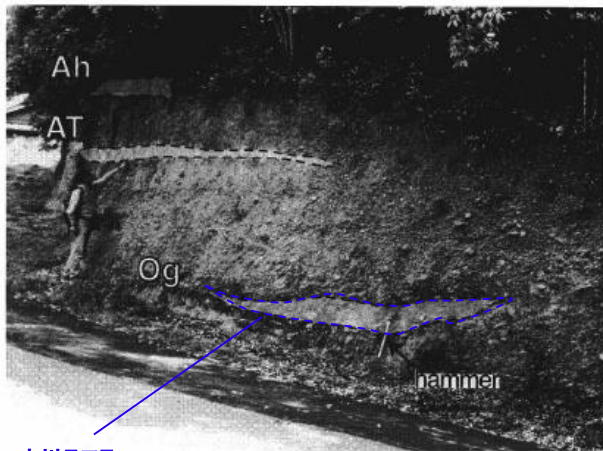
- 敷地に最も影響の大きい降灰イベントは九重第一軽石であるが、敷地周辺(宇和盆地等)の連続した細粒堆積物中に九重第一軽石と対応する火山灰層は確認されない。
- 敷地から約70km南南東(九重山から約130km東南東)の高知県宿毛市で九重第一軽石を報告した熊原・長岡(2002)によると、「中～細粒砂サイズの結晶質降下軽石層」とされており、粒度は0.5mm以下である。
- 噴出源からの距離別の粒度分布の例(樽前山)より噴出源から離れるほど火山灰の粒度が細粒となることが示されており、九重山から約108kmの距離に位置する敷地において九重第一軽石に相当する火山灰が降下する場合の**粒径は1mm以下が主体**と評価される。



1 Crater of Kuju-Daiichi tephra  
2 Observation points of Ogawa tephra

図1 九重第一テフラの降下分布と小川テフラの確認地点  
九州地域の等層厚線は町田・新井(1992)をもとに作成。

Fig. 1 Distribution of Kuju-Daiichi tephra and observation points of Ogawa tephra  
Thickness of the Kuju-Daiichi tephra inside Kyushu is modified from Machida and Arai (1992).



小川テフラ(九重第一軽石) 図4 Loc. 1の露頭写真  
写真右下にあるハンマーの柄の長さは40cmである。  
Og: 小川テフラ, AT: 始良Tnテフラ, Ah: 鬼界アカホヤテフラ

Fig. 4 Photograph of the outcrop at Loc. 1  
The length of the grip of the hammer is 40 cm as scale on right bottom of the photo.  
Og: Ogawa tephra, AT: Aira-Tanzawa tephra, and Ah: Kikai-Akahoya tephra

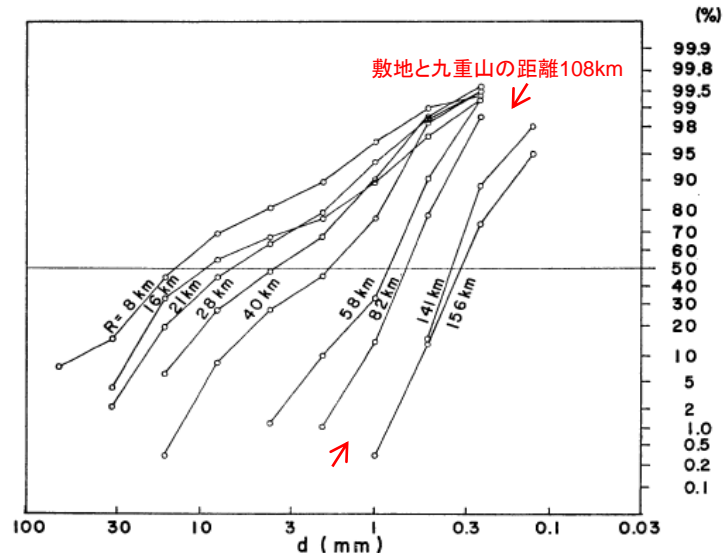


Fig. 10. Cumulative weight-percentage curves of the particle size distribution of Ta-b<sub>2</sub> deposit plotted on logarithmic probability paper. The samples are collected along the distribution axis of pumice-fall. Arabic numerals are distance from Mt. Tarumai.

【熊原・長岡(2002)より抜粋】

模式地のLoc. 1は、町田・新井(1978)によって鬼界アカホヤテフラ(K-Ah)と始良Tnテフラが記載された露頭である。Loc. 1における小川テフラは、現河床との比高約8mの低位段丘を覆う崖錐堆積物中に挟まれる。この崖錐堆積物は層厚5m以上、粒径10～20cm程度の角礫層からなり、上位から鬼界アカホヤテフラ、始良Tnテフラ、小川テフラを挟む(図3、図4)。鬼界アカホヤテフラと始良Tnテフラ間の崖錐堆積物の層厚は100cmで、始良Tnテフラと小川テフラ間の崖錐堆積物の層厚は180cmである(図3)。小川テフラの下位では層厚60cmの崖錐堆積物が低位段丘面を覆っている。崖錐堆積物中には明瞭な不整合面は認められない。Loc. 1では、低位段丘の構成層は観察できないが、約100m下流の地点では、低位段丘の構成層は層厚3m以上の20～40cmの垂円礫からなる。ここでの小川テフラは、層厚20cm、中～細粒砂サイズの結晶質降下軽石層である。色調は黄褐色を呈し、降下ユニットは認められない。火山灰層中には非火山性の細粒砂が混入する。

樽前山の降下火砕物の距離-粒径分布  
(鈴木ほか, 1973)より抜粋, 一部加筆)



# 設計で考慮する降下火砕物の粒度② <地質調査結果>

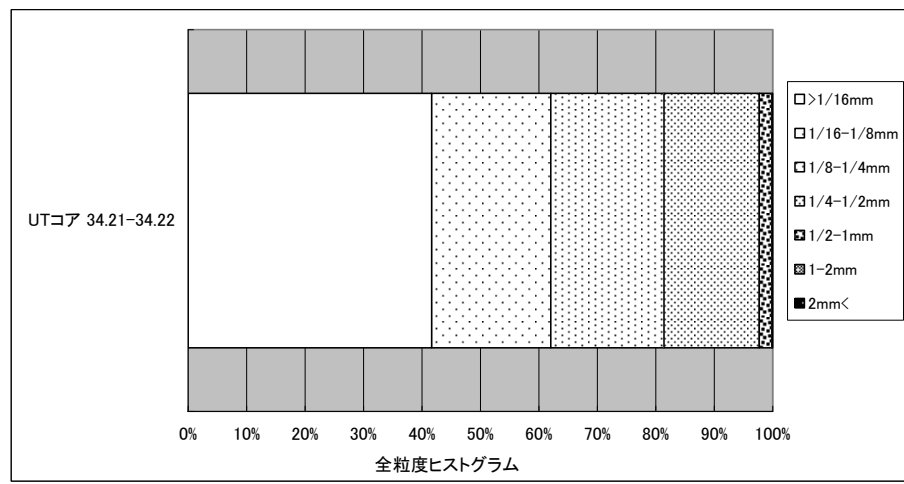
- 宇和盆地における厚さ1cmの火山灰の粒度試験(ふるい分析)結果によると、細粒の火山灰が多く、1mm以下が主体(全体の99.92%)である。
- また、宇和盆地における厚さ数十cmの火山灰(発電所運用期間中に同規模の噴火の可能性は十分低い九州のカルデラ火山の噴火と対応)の粒度試験結果においても細粒の火山灰が多く、1mm以下が主体である。
- 敷地は火山と離隔があり、地質調査結果に基づき、厚さ1cm~数十cmまで各種の厚さ(噴火規模)の火山灰のいずれも**粒度は1mm以下主体**と評価される。

宇和盆地における火山灰(厚さ1cm)の粒度試験結果

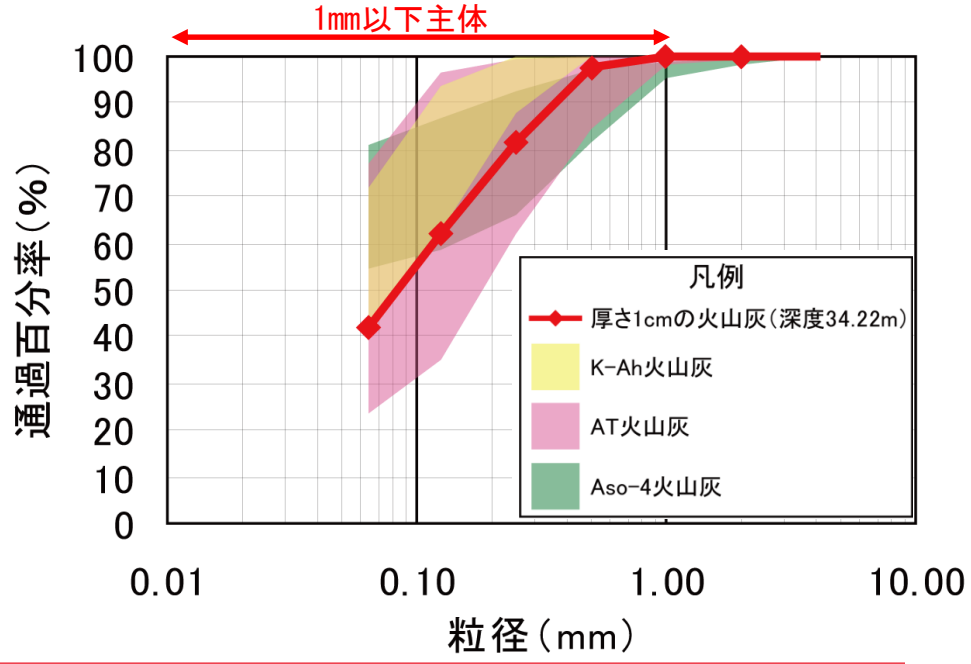
粒度(%)						
>1/16mm	1/16-1/8mm	1/8-1/4mm	1/4-1/2mm	1/2-1mm	1-2mm	2mm<
>4φ	4φ-3φ	3φ-2φ	2φ-1φ	1φ-0φ	0φ- -1φ	-1φ<
41.67	20.37	19.36	16.31	2.20	0.08	0.00

1mm以下が全体の99.92%を占める

宇和盆地における火山灰(厚さ1cm)の粒度試験結果



<参考> 宇和盆地におけるその他火山灰との比較



# 設計で考慮する降下火砕物の粒度③ <設備への影響>

- 設備影響評価において、降下火砕物の粒径によって懸念されるのは「水循環系の閉塞」による影響である。具体的には、海水取水系統の設備(海水ポンプ、海水ストレーナ及びその下流の機器)における、狭隘部及び伝熱管等の閉塞である。
- 海水取水系統には各段階に除塵装置、ストレーナがあり、これらが目詰まりした場合は清掃等を実施することとしており、各設備に影響を及ぼさないようにしている。(図1)
- 海水ポンプの流水部の最も狭い箇所は70mmである。(図2)
- 軸受潤滑水は、海水ポンプ出口配管から分岐し、軸受潤滑水ストレーナ(メッシュ:約1mm)を介して潤滑水用穴(φ10.5mm)を通じて注入される。軸受潤滑水は常時流量監視をしており、流量が低下(閉塞の傾向を感知)した場合は容易に清掃できる。また、軸受部には異物逃がし溝(上部・中間軸受:約3.7mm以上, 下部軸受:約4.5mm以上)が設けられている。(図2, 3)
- 以上より、**1mmを超える降下火砕物があっても設備影響評価が変わるものではない。**

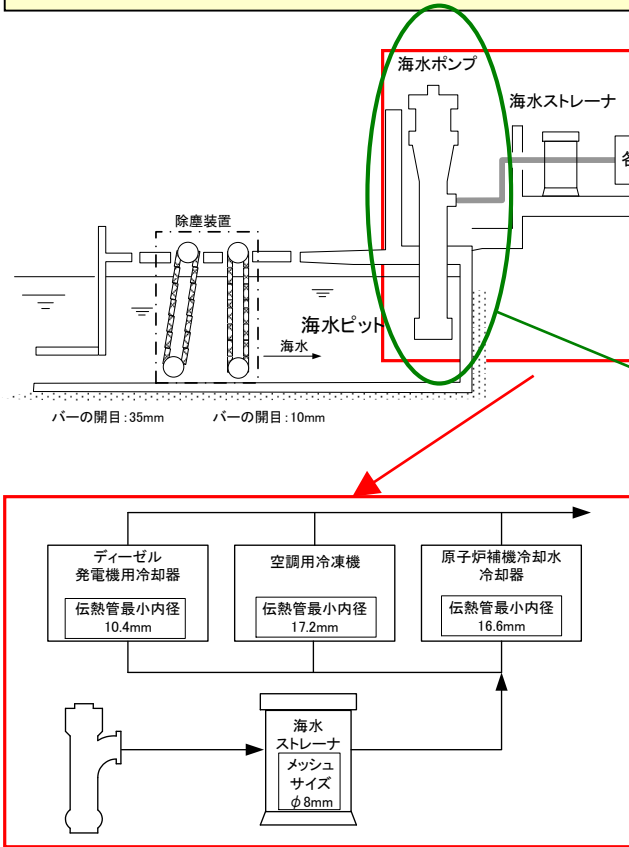


図1 海水取水系統概略図

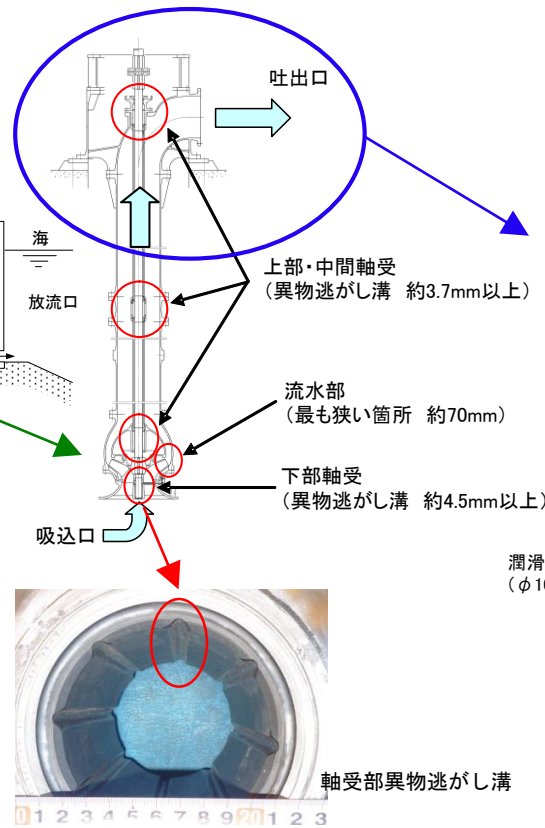


図2 海水ポンプ流水構造図

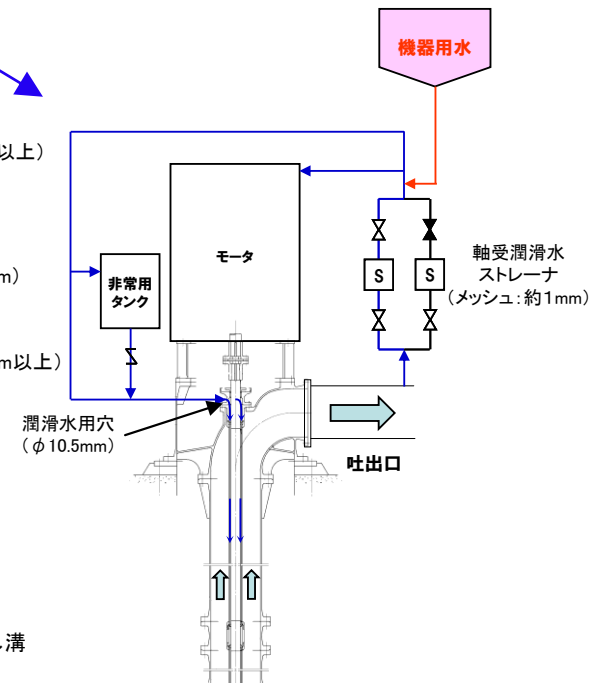


図3 海水ポンプ軸受潤滑水系統図

## 設計で考慮する降下火砕物の粒度④<まとめ>

### 【文献調査結果】

敷地に最も影響の大きい降灰イベントである九重第一軽石について、九重山から約130kmの高知県宿毛市における粒度が0.5mm以下であり、一般に噴出源から離れるほど火山灰の粒度が細粒となることを踏まえれば、九重山から約108kmの距離に位置する敷地において九重第一軽石に相当する火山灰が降下する場合の粒径は1mm以下が主体と評価される。

### 【地質調査結果】

敷地は火山と離隔があり、地質調査結果に基づき、厚さ1cm～数十cmまで各種の厚さ(噴火規模)の火山灰のいずれも粒度は1mm以下主体と評価される。

### 【設備への影響】

設備影響評価において、降下火砕物の粒径によって懸念されるのは「水循環系の閉塞」による影響である。海水取水システムには各段階に除塵装置、ストレーナがあり、これらが目詰まりした場合は清掃等を実施することとしており、各設備に影響を及ぼさないようにしている。1mmを超える降下火砕物があっても設備影響評価が変わるものではない。



### 【降下火砕物の設計条件】

- a. 設計条件の検討  
「粒径は1mm以下が主体」
- b. 設計条件の設定  
「粒径1mm以下と設定」

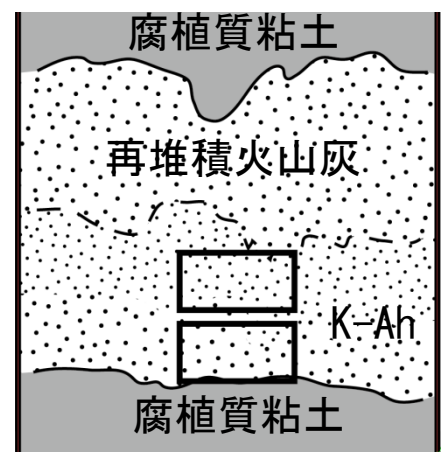
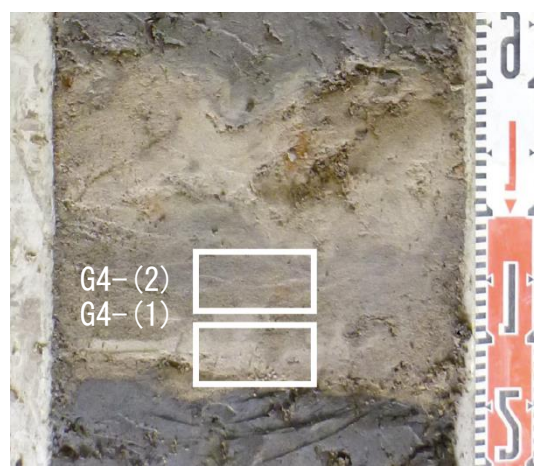
# 設計で考慮する降下火砕物の密度

○宇和盆地において最上位のK-Ah火山灰の密度試験を実施した。設計では降下直後の火山灰を想定する必要があるのに対して、K-Ah火山灰は約7千年前の降下であるため、ときほぐして降下直後の状態に調整した試料の密度試験を実施した。

○ときほぐした試料の密度試験結果は、乾燥状態で0.665g/cm<sup>3</sup>、湿潤状態で1.323g/cm<sup>3</sup>である。

○上記の密度試験結果を包含するように、火山灰の密度を、乾燥状態で0.5g/cm<sup>3</sup>、湿潤状態で1.5g/cm<sup>3</sup>として設備の影響評価を行う。

K-Ah火山灰試料採取位置 (G4ジオスライサー)



	ときほぐした試料 (g/cm <sup>3</sup> )		<参考> 不攪乱試料 (g/cm <sup>3</sup> )	
	乾燥	湿潤	乾燥	湿潤
G4-(2)	0.698	1.359	0.842	1.423
G4-(1)	0.632	1.286	0.890	1.417
平均	0.665	1.323	0.866	1.420



# 年超過確率の参照

○宇和盆地における調査結果(約85万年前以降に66枚の火山灰層)から火山灰の降下厚さの年超過確率について検討した。敷地において考慮する火山灰厚さ15cmは年超過確率 $10^{-4} \sim 10^{-5}$ の発生頻度である。

＜発電用軽水炉型原子炉施設に係る新規制基準骨子＞より抜粋

「設計基準事故」とは、「運転時の異常な過渡変化」を超える異常な状態であって、発生する頻度はまれではあるが、原子炉施設の安全設計の観点から想定するものをいう。

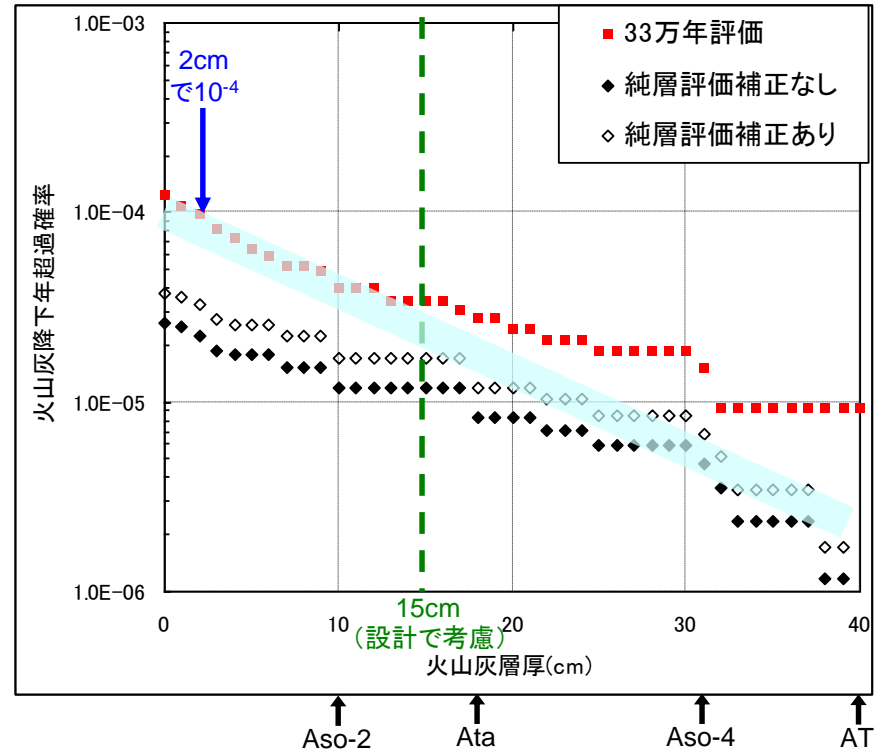
## ご意見の概要

「設計基準事故」の定義は、曖昧であり、一般にも分かり易い記述が必要である。

設計基準事故の定義における「発生頻度はまれ」とする一方、シビアアクシデントの定義には「発生する頻度が極めてまれ」とある。「まれ」と「極めてまれ」の違いが明確にされていないと、恣意的判断が入り、規制の客観性と一貫性が保たれないおそれがある。

## 考え方

「設計基準事故」の定義については、従来の安全設計評価指針における「事故」を「設計基準事故」と書き換えたものです。設計基準事故は、「原子炉施設の寿命期間中に予想される」頻度の運転時の異常な過渡変化よりもさらに低頻度のものであり、「プラントの寿命中にまれではあるが発生し得るもの」とされています。このため、プラント寿命中に1回の頻度が $10^{-1}/\text{年} \sim 10^{-2}/\text{年}$ となることを踏まえ、**設計基準事故については、それよりも低頻度であることから、 $10^{-3}/\text{年} \sim 10^{-4}/\text{年}$ 程度の発生頻度を念頭においています。**また、シビアアクシデントに至る事故の発生頻度はさらに低いものと考えています。



火山灰の降下厚さの年超過確率

※33 万年評価は薄い火山灰層の評価に適しており、純層評価は年超過確率の下限を示して厚い火山灰層の評価に適していると考えられる。



## II. 1. 地理的領域(半径160kmの範囲)に分布する第四紀火山の抽出

42火山

## II. 2. 原子力発電所に影響を及ぼし得る火山の抽出

○完新世に活動を行った活火山

5火山

鶴見岳, 由布岳, 九重山, 阿蘇, 阿武火山群

○将来の活動可能性が否定できない火山

2火山

姫島, 高平火山群

○将来の活動可能性のない火山

35火山

## II. 3. 抽出された火山の火山活動に関する個別評価

○抽出された火山の活動性に関する個別評価

- ・阿蘇は運用期間中の噴火規模を検討し, 現在の噴火ステージにおける既往最大規模を考慮
- ・阿蘇以外の火山は既往最大規模の噴火を考慮

○設計対応不可能な火山事象

火砕物密度流・溶岩流・岩屑なだれ, 地滑り及び斜面崩壊・新しい火口の開口・地殻変動

敷地への到達なし

## III. 1. 原子力発電所の安全性に影響を与える可能性のある火山事象の抽出

○発電所に影響を与える可能性のある火山事象  
降下火砕物○発電所に影響を与える可能性のない火山事象  
火山性土石流, 火山泥流及び洪水・火山から発生する飛来物(噴石)・火山ガス・大気現象・熱水系及び地下水の異常

- ・津波及び静振は「津波評価」において影響を確認(山体崩壊を考慮)
- ・火山性地震とこれに関連する事象は「地震動評価」において影響を確認(M7.1を考慮)

## III. 2. 地理的領域外の火山による広域火山灰の評価

○広域火山灰の評価

文献調査及び地質調査による厚い火山灰は九州のカルデラ火山を起源とする広域火山灰であり, 発電所運用期間中に同規模の噴火の可能性は十分低く, 降下火砕物が敷地に影響を及ぼす可能性は十分に小さいと評価

## III. 3. 地理的領域内の火山による降下火山灰の地質調査

○地理的領域内の火山による降下火山灰の文献調査

地理的領域内の火山による降下火山灰の等層厚線図として, 九重第一軽石と草千里ヶ浜軽石が示されている

- ・九重第一軽石: 四国南西端の宿毛市で火山灰の報告あり
- ・草千里ヶ浜軽石: 四国における報告なし

○九重第一軽石に関する地質調査

・既存文献に示された通り, 九重第一軽石の分布の長軸は四国南西端方向であり, 敷地付近における降下厚さはほぼ0cmと評価される

## III. 4. 地理的領域内の火山による降下火山灰シミュレーション

約5万年前の九重第一軽石は当時の気象条件に応じて東南東方向へ火山灰が降下したが, 同様の噴火が起こった時に現在の気象条件を考慮して敷地にどのような降灰が想定されるかを検討する。

ジェット気流がほぼ真西で安定する季節は敷地における降下厚さはほぼ0cmと評価される。ただし, 同規模の噴火時に風向きによっては敷地において厚さ数cmの降下火山灰が想定され, さらに既存の知見よりも噴出量を大きく見積もると十数cmの降下火山灰が想定される。

## III. 5. 設計で考慮する降下火砕物

原子力安全に対する信頼向上の観点から, 既存の知見を上回る噴出量を考慮し, 敷地において考慮すべき降下火砕物の厚さを保守的に15cmと評価する。また, 地質調査結果及び文献調査結果に基づき, 乾燥密度を0.5g/cm<sup>3</sup>, 湿潤密度を1.5g/cm<sup>3</sup>, 粒径を1mm以下主体と評価する。

## III. 6. 影響強化(まとめ)

## 影響評価のまとめ

○伊方発電所の安全性に影響を与える可能性のある火山事象として降下火砕物が抽出され、地質調査結果に基づき、評価条件は以下の通りとする。なお、「津波及び静振」及び「火山性地震とこれに関連する事象」については、それぞれ「津波評価」及び「地震動評価」において発電所の安全性に影響しないことを確認した。

### 降下火砕物の評価条件

➤ 降下火砕物厚さ	15cm	
➤ 降下火砕物粒度(粒径)	1mm以下主体	
➤ 降下火砕物密度	乾燥状態	湿潤状態
	0.5g/cm <sup>3</sup>	~ 1.5g/cm <sup>3</sup>

- 
- I. 火山影響評価の流れ
  - II. 立地評価
  - III. 影響評価
  - IV. まとめ



## まとめ

- 原子力規制委員会の「原子力発電所の火山影響評価ガイド」に従い、まず立地評価を行い、次に影響評価を行った。
- 敷地は火山と十分な離隔があるため、設計対応不可能な火山事象のうち溶岩流・岩屑なだれ、地滑り及び斜面崩壊・新しい火口の開口・地殻変動については問題ない。火砕物密度流についても、敷地付近に火砕流堆積物が分布しないことを確認した。
- 設計対応不可能な火山事象が発電所に影響を及ぼす可能性はないと評価される。
- 地理的領域内の火山のうち九重山を給源とする九重第一軽石は東南東方向に細長い分布を示し、純層ではないものの四国南西端の宿毛市で火山灰の報告がある。地質調査の結果、既存文献に示された通り、九重第一軽石の分布の長軸は四国南西端方向であり、敷地付近における降下厚さはほぼ0cmと評価される。また、九重第一軽石と同等の噴火が起こった時に、現在の気象条件を考慮して敷地にどのような降灰が想定されるかを降下火山灰シミュレーションによって検討した結果、ジェット気流がほぼ真西で安定する季節は敷地における降下厚さはほぼ0cmと評価される。
- ただし、同規模の噴火時に風向きによっては敷地において厚さ数cmの降下火山灰が想定され、さらに既存の知見よりも噴出量を大きく見積もると十数cmの降下火山灰が想定される。原子力安全に対する信頼向上の観点から、既存の知見を上回る噴出量を考慮し、敷地において考慮すべき降下火砕物の厚さを保守的に15cmと評価する。
- 今後、四国に降下した火山灰に関するデータの拡充など新知見の収集に努めるとともに、九州の火山について各種機関による観測データを入手して定期的に分析し、火山活動に顕著な活発化が認められる場合には設備の再点検や人員確保を事前に行うなどの対応によって伊方発電所の火山に対する安全対策に万全を期すことと致したい。

# 参考文献

- ・第四紀火山カタログ委員会編, 1999, 日本の第四紀火山カタログVer.1.0, 日本火山学会.
- ・星住英夫・小野晃司・三村弘二・野田徹郎, 1988, 別府地域の地質, 地域地質研究報告, 5万分の1地質図幅, 地質調査所.
- ・海上保安庁海洋情報部, 2013, 海域火山データベース, <http://www1.kaiho.mlit.go.jp/GIJUTSUKOKUSAI/kaiikiDB/list-2.htm>, 海上保安庁ホームページ.
- ・鎌田浩毅, 1997, 宮原地域の地質, 地域地質研究報告, 5万分の1地質図幅, 地質調査所.
- ・気象庁編, 2013, 日本活火山総覧(第4版), 気象業務支援センター.
- ・熊原康博・長岡信治, 2002, 四国南西部, 松田川流域における九重第一テフラの対比と低位段丘の年代, 第四紀研究, 41, 213-219.
- ・熊原康博, 2002, 四国南西部, 僧都川および松田川流域における中期更新世以降の地形発達と地殻変動, 地理学評論, 75, 553-570.
- ・萬年一剛, 2013, 降下火山灰シミュレーションコードTephra2の理論と現状ー第四紀学での利用を視野に, 第四紀研究, 52, 173-187.
- ・町田 洋・新井房夫, 1992, 火山灰アトラス[日本列島とその周辺].
- ・町田 洋・新井房夫, 2011, 新編 火山灰アトラス[日本列島とその周辺], 新編第2刷.
- ・三好雅也・長谷中利昭・佐野貴司, 2005, 阿蘇カルデラ形成後に活動した多様なマグマとそれらの成因関係について, 火山, 50, 269-283.
- ・守田益宗・須貝俊彦・古澤 明・大野裕記・西坂直樹・辻 智大・池田倫治・柳田 誠, 2014, 宇和盆地の花粉分析からみたMIS15以降の植生変遷史, 植生史研究, 23, 3-19.
- ・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, 50, S77-S100.
- ・Nagaoka, S., 1988, The late quaternary tephra layers from the caldera volcanoes in and around Kagoshima bay, southern Kyushu, Japan, Geographical Reports of Tokyo Metropolitan University, 23, 49-122.
- ・長岡信治・奥野 充, 2014, 九重火山のテフラ層序, 月刊地球, 36, 281-296.
- ・中野 俊・西来邦章・宝田晋治・星住英夫・石塚吉浩・伊藤順一・川辺禎久・及川輝樹・古川竜太・下司信夫・石塚 治・山元孝広・岸本清行編, 2013, 日本の火山(第3版)概要及び付表, 200万分の1地質編集図, no.11, 産業技術総合研究所地質調査総合センター.
- ・日本第四紀学会編, 1987, 日本第四紀地図.
- ・西来邦章・伊藤順一・上野龍之編, 2012, 第四紀火山岩体・貫入岩体データベース, 地質調査総合センター速報 no.60, 産業技術総合研究所地質調査総合センター.
- ・小野 晃司・渡辺 一徳, 1985, 阿蘇火山地質図 1:50,000, 火山地質図4, 地質調査所.
- ・産業技術総合研究所地質調査総合センター, 2013, 日本の火山, Ver.0.90, <https://gbank.gsj.jp/volcano/>, 産業技術総合研究所ホームページ.
- ・産業技術総合研究所地質調査総合センター編, 2014, 日本の火山, <https://gbank.gsj.jp/volcano/>, 産業技術総合研究所ホームページ.
- ・Sudo, Y. and L. S. L. Kong, 2001, Three-dimensional seismic velocity structure beneath Aso Volcano, Kyushu, Japan, Bull. Volcanol., 63, 326-344.
- ・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, 58, 261 - 321.
- ・高倉伸一・橋本武志・小池克明・小川康雄, 2000, MT法による阿蘇カルデラの比抵抗断面, CA研究会論文集, 91, 23-30.
- ・高橋正樹, 2003, 大規模カルデラ噴火のリスクと予測可能性, 月刊地球, 25, 857-860.
- ・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, No.11, 720-724.
- ・辻 智大・池田倫治・西坂直樹・柳田 誠・守田益宗, 2014, 愛媛県宇和盆地におけるボーリングコアに含まれる第四紀堆積物およびテフラ, 植生史研究, 23, 巻頭写真.