

女川原子力発電所 火山影響評価について (コメント回答)

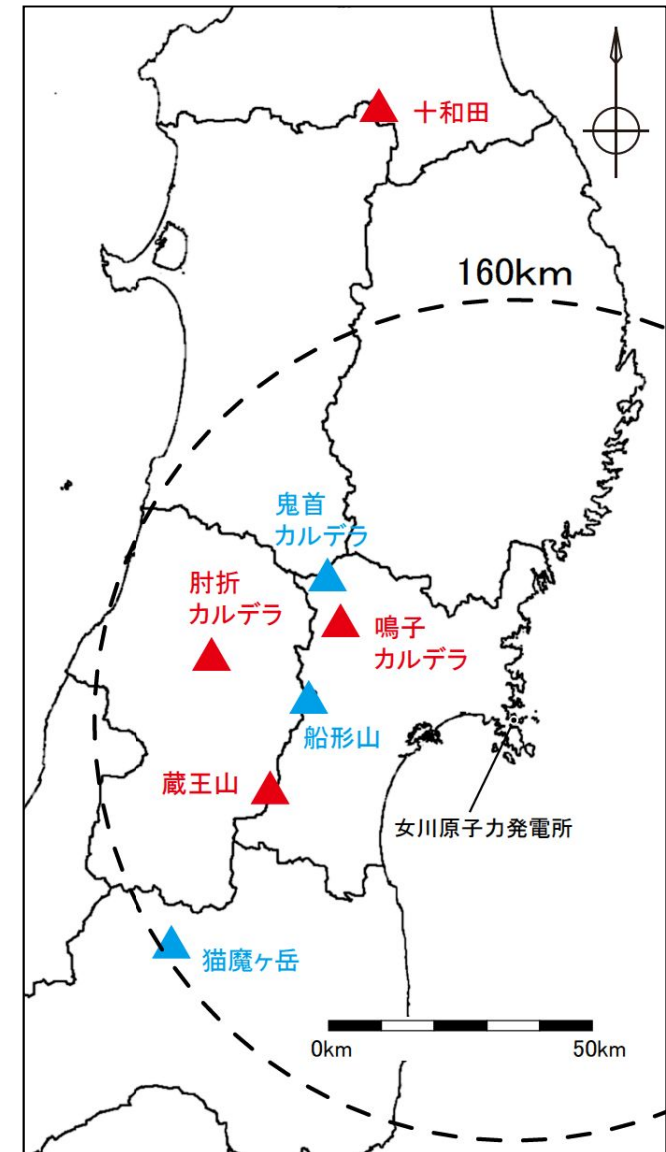
平成27年 6月12日
東北電力株式会社

審査会合におけるコメント

No.	コメント 時期	コメント内容	頁
S63	1月30日 審査会合	船形山等, 将来の活動可能性が無いと評価した火山の活動年代等について詳しく説明すること。	10~18
S64	1月30日 審査会合	鳴子カルデラの火砕物密度流の到達範囲等について, 整理して説明すること。	28~38
S65	1月30日 審査会合	敷地内及び敷地周辺で確認された降下火砕物について, 詳細なデータを提示すること。	53
S66	1月30日 審査会合	降下火砕物のシミュレーションの対象について, 火山タイプ・活動履歴等を考慮し, 地理的領域外の火山も含めて検討すること。	57~99

審査会合におけるコメント及び検討内容

No.	コメント内容	頁
	検討内容	
S63	船形山等, 将来の活動可能性が無いと評価した火山の活動年代等について詳しく説明すること。	10～18
	<ul style="list-style-type: none"> ➢ 船形山及び猫魔ヶ岳について, 噴出物の年代測定誤差も含めて最新活動からの経過期間と最大休止期間の検討を行った。 ➢ 鬼首カルデラの噴気および熱水活動, さらに活動年代に関する文献調査を行い, 鬼首カルデラの活動性について整理した。 	
S64	鳴子カルデラの火砕物密度流の到達範囲等について, 整理して説明すること。	28～38
	<ul style="list-style-type: none"> ➢ 鳴子カルデラの火砕物密度流の到達範囲について, 文献で示されている露頭情報から層厚を読み取り, 敷地への影響検討を実施した。 	
S65	敷地内及び敷地周辺で確認された降下火砕物について, 詳細なデータを提示すること。	53
	<ul style="list-style-type: none"> ➢ 文献調査を行い, 敷地周辺で確認されている降下火砕物について整理した。 	
S66	降下火砕物のシミュレーションの対象について, 火山タイプ・活動履歴等を考慮し, 地理的領域外の火山も含めて検討すること。	57～99
	<ul style="list-style-type: none"> ➢ 鳴子カルデラ, 蔵王山, 肘折カルデラ及び十和田を対象火山として抽出し, 降下火砕物のシミュレーションを実施した。 	



火山影響評価について

- 女川原子力発電所への火山影響評価を行うため、「原子力発電所の火山影響評価ガイド」に沿って、下図のとおり立地評価と影響評価の2段階で行った。
- 立地評価としては、「原子力発電所へ影響を及ぼし得る火山の抽出」及び「抽出された火山の火山活動に関する個別評価」を行い、影響評価としては、「原子力発電所に影響を及ぼし得る火山事象の抽出」を行った。
- なお、本資料では、原子力発電所の安全性に影響を及ぼす可能性のある火山事象の抽出までとした。

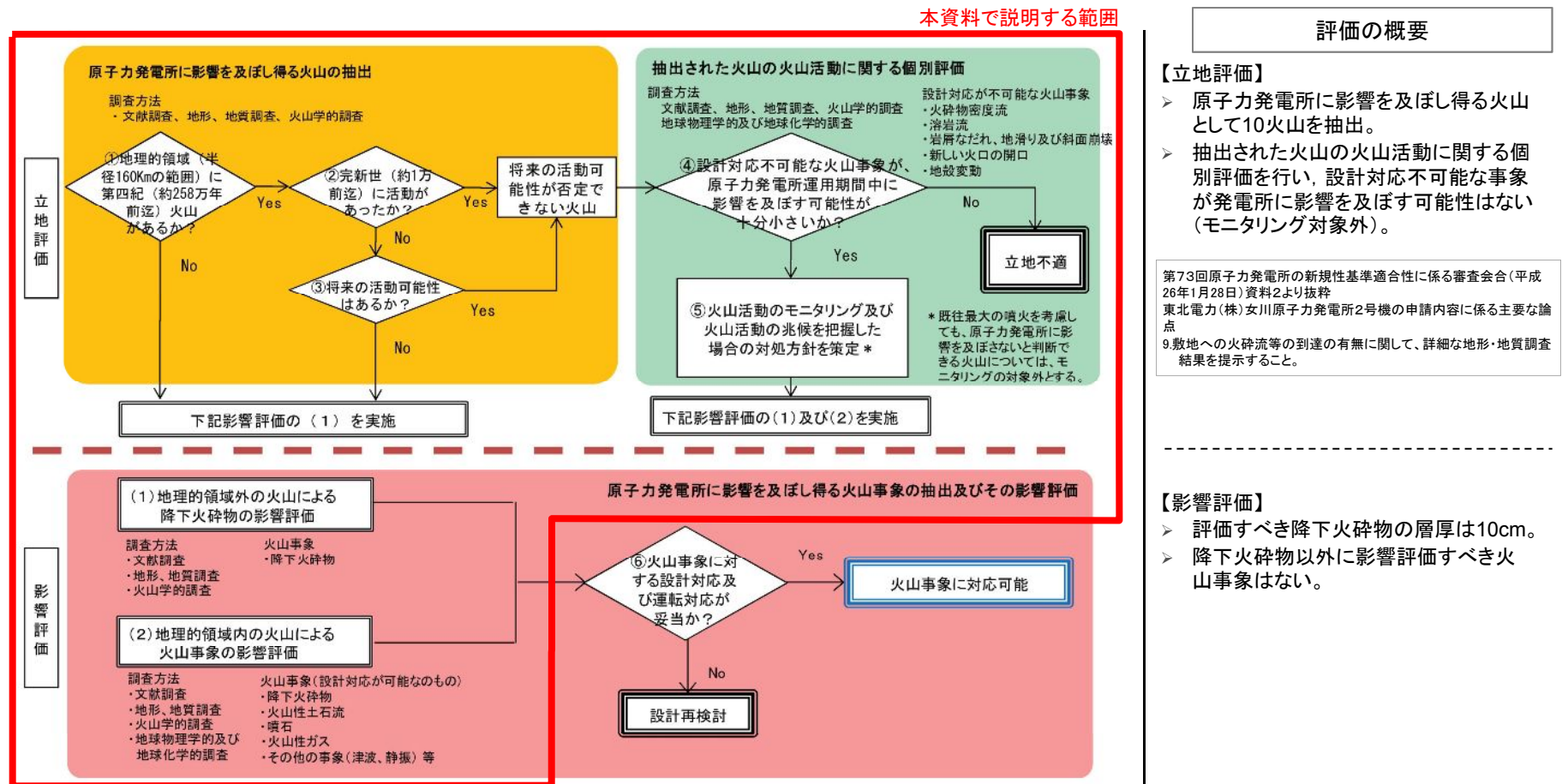


図1 原子力発電所に影響を及ぼす火山影響評価の基本フロー

「原子力発電所の火山影響評価ガイド」より抜粋、一部加筆

目次

1. 原子力発電所に影響を及ぼし得る火山の抽出	p5
1. 1 敷地を中心とする半径160kmの範囲の第四紀火山	p7
1. 2 原子力発電所に影響を及ぼし得る火山	p10
1. 2. 1 完新世に活動していない火山の検討	p11
1. 2. 2 船形山の検討	p13
1. 2. 3 猫魔ヶ岳の検討	p15
1. 2. 4 鬼首カルデラの検討	p17
1. 2. 5 原子力発電所に影響を及ぼし得る火山のまとめ	p19
2. 抽出された火山の火山活動に関する個別評価	p21
3. 原子力発電所に影響を及ぼし得る火山事象の抽出	p47
3. 1 降下火砕物の影響評価	p48
3. 1. 1 文献調査	p49
3. 1. 2 地質調査	p54
3. 1. 3 シミュレーション	p57
3. 1. 4 降下火砕物の影響評価のまとめ	p99
3. 2 敷地を中心とする半径160km内の火山による火山事象の影響評価	p100
4. まとめ	p102
参考文献	p104

1. 原子力発電所に影響を及ぼし得る火山の抽出

- 1. 1 敷地を中心とする半径160kmの範囲の第四紀火山
- 1. 2 原子力発電所に影響を及ぼし得る火山
 - 1. 2. 1 完新世に活動していない火山の検討
 - 1. 2. 2 船形山の検討
 - 1. 2. 3 猫魔ヶ岳の検討
 - 1. 2. 4 鬼首カルデラの検討
 - 1. 2. 5 原子力発電所に影響を及ぼし得る火山のまとめ

1. 原子力発電所に影響を及ぼし得る火山の抽出 【概要】

- 敷地を中心とする半径160kmの範囲を対象に、文献調査等により第四紀に活動した火山(以下、「第四紀火山」という。)の抽出を行った。

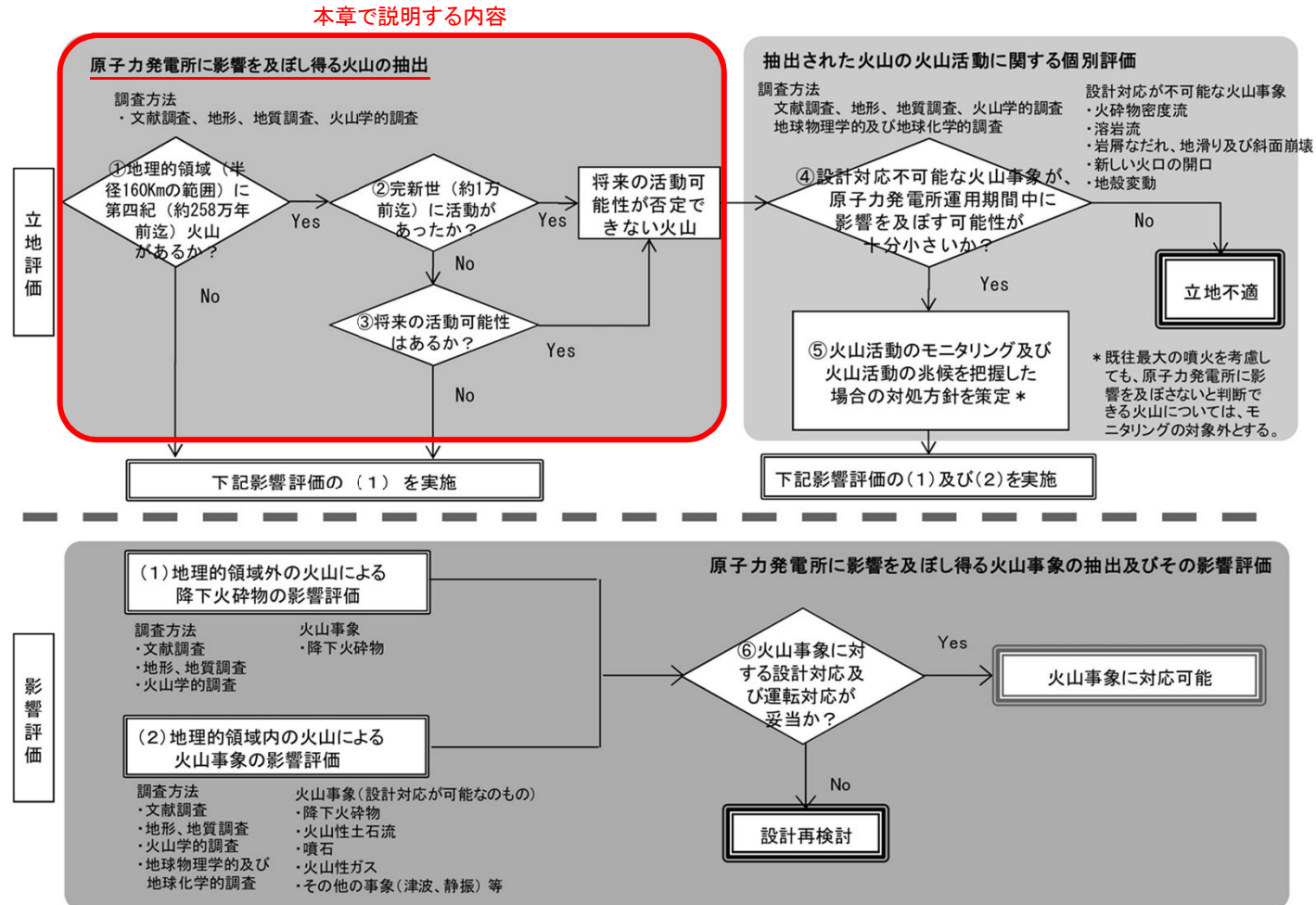


図1 原子力発電所に影響を及ぼす火山影響評価の基本フロー

「原子力発電所の火山影響評価ガイド」より抜粋，一部加筆

1. 原子力発電所に影響を及ぼし得る火山の抽出

1.1 敷地を中心とする半径160kmの範囲の第四紀火山【地形図との対応】

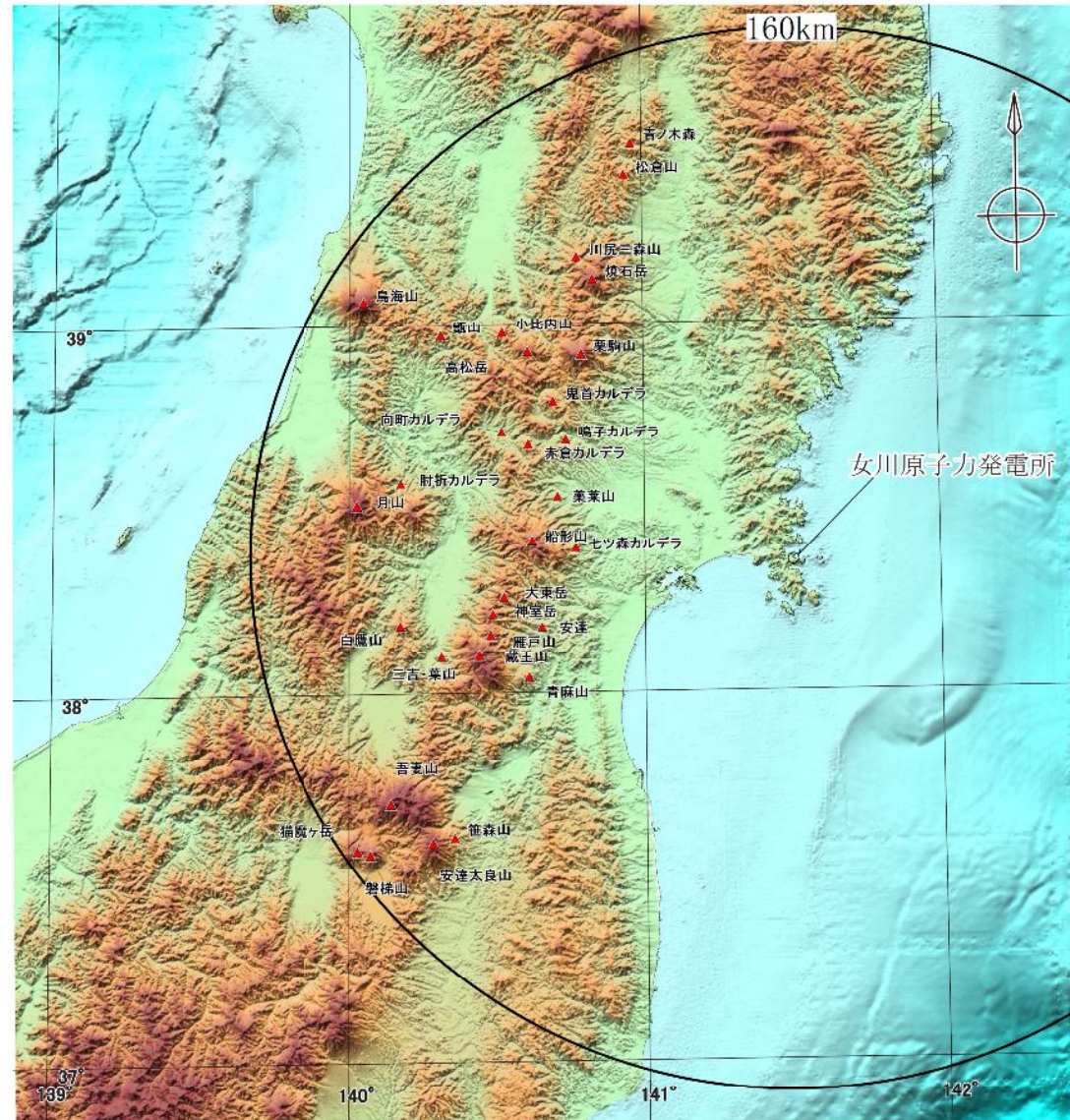
- 敷地を中心とする半径160kmの範囲には、下表のとおり、31の第四紀火山がある。
- これら31の第四紀火山は、盛岡～石巻、仙台～中通り(福島)にかけての低地帯よりも西側に分布し、脊梁山地を構成している。
- 敷地は、火山フロントより約60km東側に離れた北上山地南端部の牡鹿半島に位置している。

敷地を中心とする半径160kmの範囲の第四紀火山一覧

火山名	最新活動時期※1	敷地からの距離(km)
青ノ木森	G	134
松倉山	G	126
川尻三森山	G	111
焼石岳	Q2	102
鳥海山	H	148
甑山	Q1	123
小比内山	Q2	109
高松岳	Q2	100
栗駒山	H	87
鬼首カルデラ	Q2	85
鳴子カルデラ	H	76
赤倉カルデラ	G	85
向町カルデラ	Q2	94
肘折カルデラ	Q3	117
月山	Q2	129
薬菜山	Q1	72
七ツ森カルデラ	Q1	64
船形山	Q2	77
安達	Q3	76
大東岳	Q1	86
神室岳	Q1	90
雁戸山	Q2	92
青麻山	Q2	85
蔵王山	H	97
三吉・葉山	G	107
白鷹山	Q1	117
笹森山	G	130
吾妻山	H	140
安達太良山	H	136
磐梯山	H	153
猫魔ヶ岳	Q1	156

火山名および最新活動時期は、中野ほか編(2013)による。

※1 H:完新世, Q3:後期更新世, Q2:中期更新世, Q1:前期更新世後半,
G:前期更新世前半



敷地を中心とする半径160kmの範囲の地形図

0 50 100km

1. 原子力発電所に影響を及ぼし得る火山の抽出

1.1 敷地を中心とする半径160kmの範囲の第四紀火山【火山地質図との対応】

第189回審査会合
資料2-1 再掲

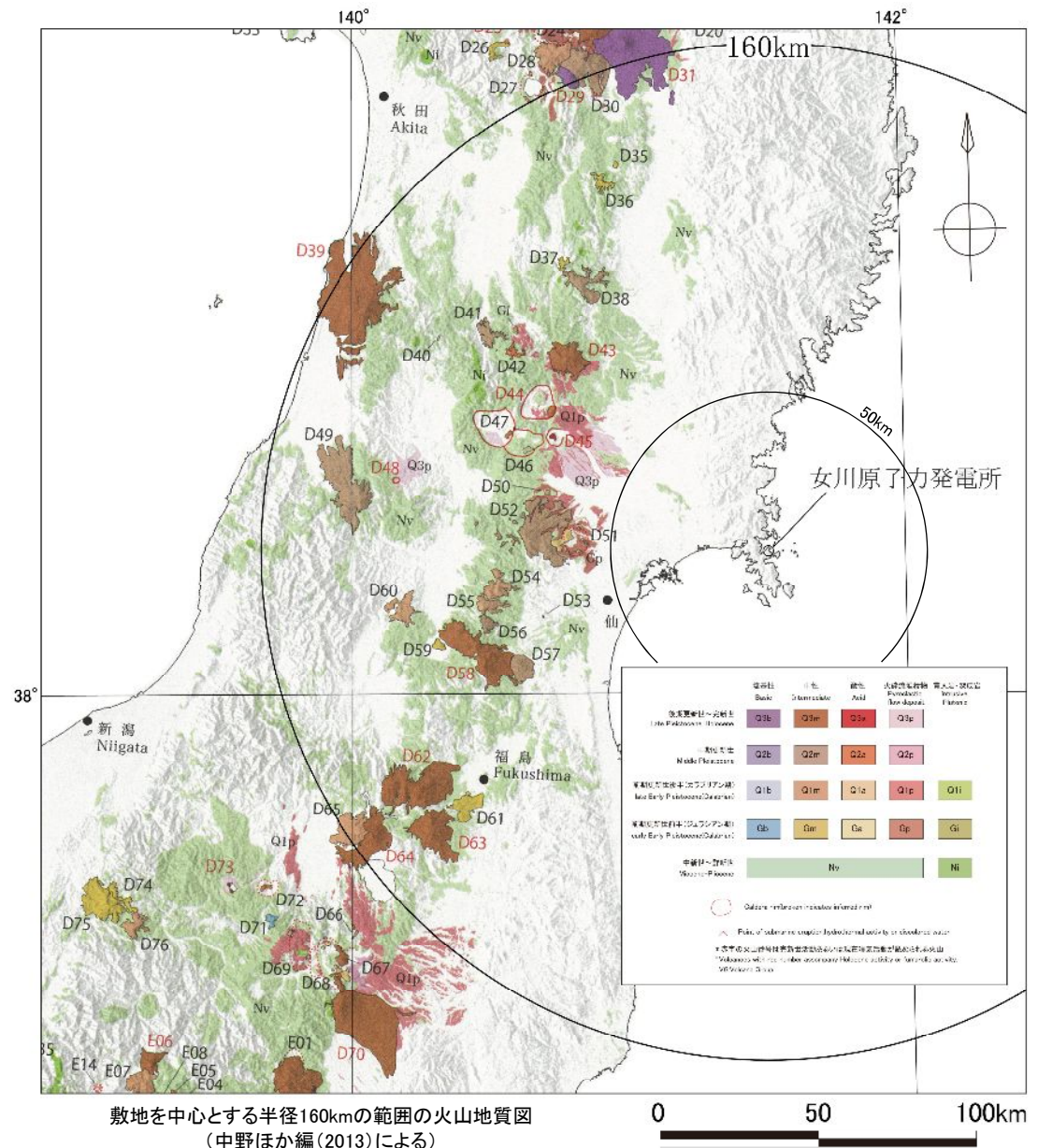
- 中野ほか編(2013)によれば、敷地を中心とする半径50kmの範囲に火砕流堆積物の分布は示されていない。

敷地を中心とする半径160kmの範囲の第四紀火山一覧

番号	火山名	最新活動時期※1	敷地からの距離(km)
D35	青ノ木森	G	134
D36	松倉山	G	126
D37	川尻三森山	G	111
D38	焼石岳	Q2	102
D39	鳥海山	H	148
D40	甌山	Q1	123
D41	小比内山	Q2	109
D42	高松岳	Q2	100
D43	栗駒山	H	87
D44	鬼首カルデラ	Q2	85
D45	鳴子カルデラ	H	76
D46	赤倉カルデラ	G	85
D47	向町カルデラ	Q2	94
D48	肘折カルデラ	Q3	117
D49	月山	Q2	129
D50	葉葉山	Q1	72
D51	七ツ森カルデラ	Q1	64
D52	船形山	Q2	77
D53	安達	Q3	76
D54	大東岳	Q1	86
D55	神室岳	Q1	90
D56	雁戸山	Q2	92
D57	青麻山	Q2	85
D58	蔵王山	H	97
D59	三吉・葉山	G	107
D60	白鷹山	Q1	117
D61	笹森山	G	130
D62	吾妻山	H	140
D63	安達太良山	H	136
D64	磐梯山	H	153
D65	猫魔ヶ岳	Q1	156

火山名および最新活動時期は、中野ほか編(2013)による。

※1 H: 完新世, Q3: 後期更新世, Q2: 中期更新世, Q1: 前期更新世後半,
G: 前期更新世前半



1. 原子力発電所に影響を及ぼし得る火山の抽出

1.1 敷地を中心とする半径160kmの範囲の第四紀火山【抽出火山の活動時期】

第189回審査会合
資料2-1 再掲

➤ 敷地を中心とする半径160kmの範囲の第四紀火山(31火山)に関する活動時期は以下のとおり。

No.	火山名※1	敷地からの距離(km)	活動時期※2			
			第四紀			
			更新世	完新世		現在
			100万年	10万年	1万年	現在
1	青ノ木森	134				
2	松倉山	126	◆			
3	川尻三森山	111	◆			
4	焼石岳	102				
5	鳥海山	148				
6	甌山	123				
7	小比内山	109				
8	高松岳	100				
9	栗駒山	87				
10	鬼首カルデラ	85				
11	鳴子カルデラ	76				
12	赤倉カルデラ	85				
13	向町カルデラ	94				
14	肘折カルデラ	117				
15	月山	129				
16	葉葉山	72				

— : 活動期間を示す。

◆ : 単一活動として評価。

No.	火山名※1	敷地からの距離(km)	活動時期※2			
			第四紀			
			更新世	完新世		現在
			100万年	10万年	1万年	現在
17	七ツ森カルデラ	64				
18	船形山	77				
19	安達	76				
20	大東岳	86				
21	神室岳	90				
22	雁戸山	92				
23	青麻山	85				
24	蔵王山	97				
25	三吉・葉山	107				
26	白鷹山	117				
27	笹森山	130				
28	吾妻山	140				
29	安達太良山	136				
30	磐梯山	153				
31	猫魔ヶ岳	156				

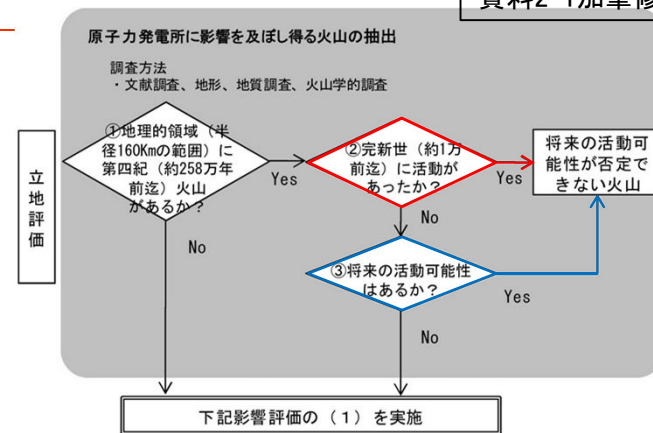
※1 中野ほか編(2013)による。

※2 中野ほか編(2013)等による。

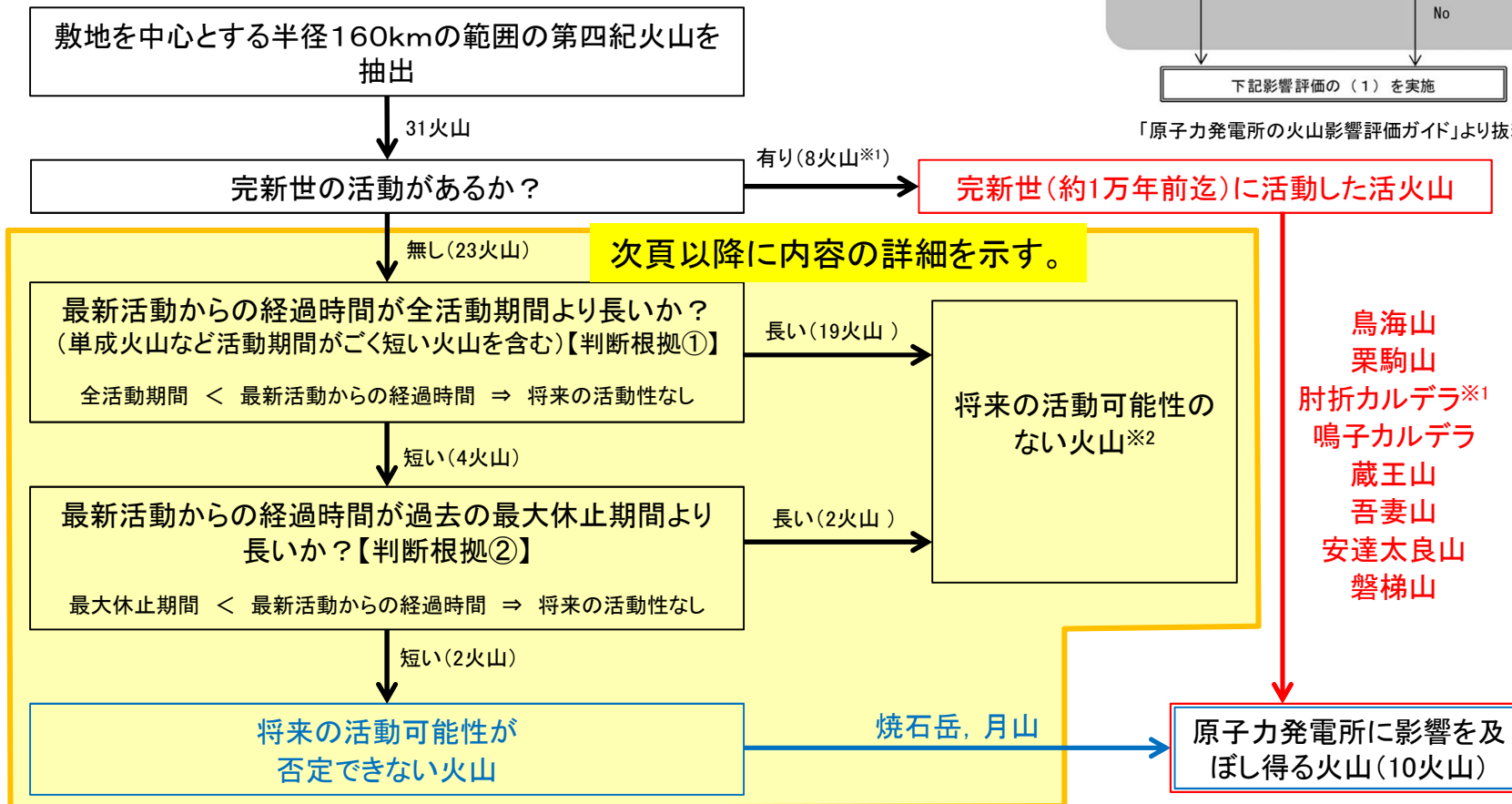
1. 原子力発電所に影響を及ぼし得る火山の抽出

1.2 原子力発電所に影響を及ぼし得る火山【抽出フロー】

- 敷地を中心とする半径160kmの範囲の第四紀火山(31火山)について、完新世の活動の有無、将来の活動可能性を検討し、原子力発電所に影響を及ぼし得る火山として、焼石岳、鳥海山、栗駒山、鳴子カルデラ、肘折カルデラ、月山、蔵王山、吾妻山、安達太良山及び磐梯山の10火山を抽出した。



「原子力発電所の火山影響評価ガイド」より抜粋、一部加筆



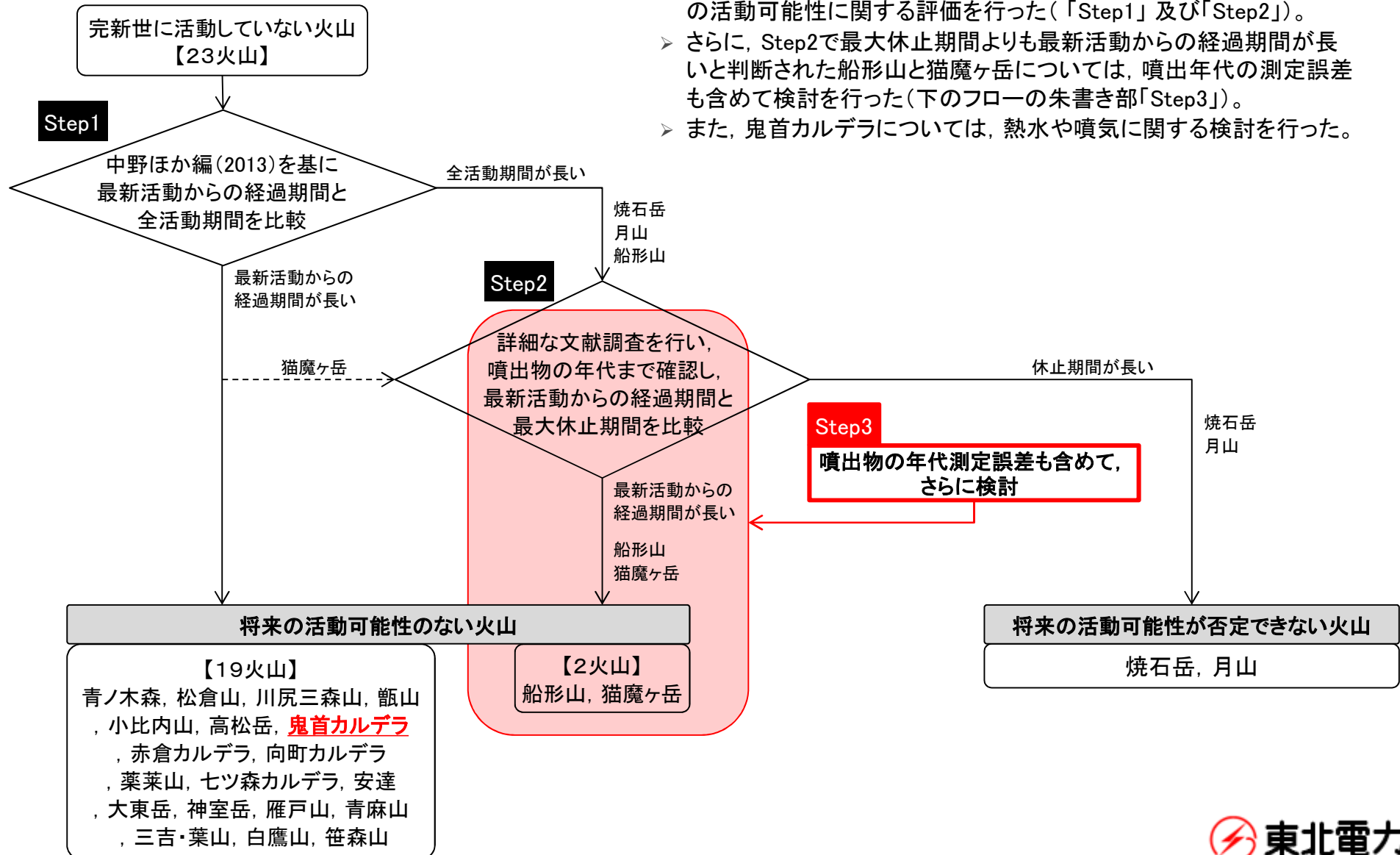
- 鳥海山
- 栗駒山
- 肘折カルデラ※1
- 鳴子カルデラ
- 蔵王山
- 吾妻山
- 安達太良山
- 磐梯山

※1 肘折カルデラについては、気象庁編(2013)を考慮して抽出した。
 ※2 将来の活動可能性のない火山(21火山)の活動履歴を、補足説明資料p3-27に示す。

1. 原子力発電所に影響を及ぼし得る火山の抽出

1. 2 原子力発電所に影響を及ぼし得る火山

1. 2. 1 完新世に活動していない火山の検討 【検討フロー】



- 下のフローに従い、完新世に活動していない23火山について、将来の活動可能性に関する評価を行った(「Step1」及び「Step2」)。
- さらに、Step2で最大休止期間よりも最新活動からの経過期間が長いと判断された船形山と猫魔ヶ岳については、噴出年代の測定誤差も含めて検討を行った(下のフローの朱書き部「Step3」)。
- また、鬼首カルデラについては、熱水や噴気に関する検討を行った。

1. 原子力発電所に影響を及ぼし得る火山の抽出

1. 2 原子力発電所に影響を及ぼし得る火山

1. 2. 1 完新世に活動していない火山の検討 【Step1】

Step1

将来の活動可能性がないと評価した火山※について、中野ほか編(2013)に基づき、最新活動からの経過期間と全活動期間を比較した。



- 船形山については、最新活動からの経過期間よりも全活動期間の方が長くなることから、さらに休止期間の検討を行った。
- また、三村(2002)によれば、猫魔ヶ岳は古猫魔火山と新猫魔火山に分けられるとし、古猫魔火山の活動は1Ma頃に遡る可能性があり、0.5Ma以降に新猫魔火山が活動したとしていることから、猫魔ヶ岳についても休止期間の検討を行った。

※ 将来の活動可能性がないと評価した火山のうち焼石岳と月山については、中野ほか編(2013)に基づく最新活動からの経過期間と全活動期間の比較、さらには最新活動からの経過期間と休止期間の比較を行い、将来の活動可能性が否定できない火山と評価していることから、本検討からは対象外としている。

将来の活動可能性がないと評価した21火山
(中野ほか編(2013)による最新活動からの経過期間と全活動期間)

火山名	活動年代	最新活動からの経過期間	大小	全活動期間
青ノ木森	約210万年～約200万年前	約200万年	>	約10万年
松倉山	ジェラシアン(更新世前期)	更新世中期以降	>	更新世前期
川尻三森山	ジェラシアン(更新世前期)	更新世中期以降	>	更新世前期
甌山	約200万年～約140万年前	約140万年	>	約60万年
小比内山	約100万年～約60万年前	約60万年	>	約40万年
高松岳	約30万年～約20万年前	約20万年	>	約10万年
鬼首カルデラ	約30万年～約20万年前	約20万年	>	約10万年
赤倉カルデラ	約300万年～約200万年前	約200万年	>	約100万年
向町カルデラ	約100万年～約60万年前	約60万年	>	約40万年
薬菜山	約170万年～約100万年前	約100万年	>	約70万年
七ツ森カルデラ	約250万年～約160万年前	約160万年	>	約90万年
船形山	約150万年～約50万年前	約50万年	<	約100万年
安達	約8万年前	約8万年前の活動のみ		
大東岳	約170万年前	約170万年前の活動のみ		
神室岳	約170万年前	約170万年前の活動のみ		
雁戸山	約40万年～約30万年前	約30万年	>	約10万年
青麻山	約40万年～約30万年前	約30万年	>	約10万年
三吉・葉山	約240万年～約230万年前	約230万年	>	約10万年
白鷹山	約100万年～約80万年前	約80万年	>	約20万年
笹森山	約370万年～約200万年前	約200万年	>	約170万年
猫魔ヶ岳	約100万年～約80万年前	約80万年	>	約20万年

1. 原子力発電所に影響を及ぼし得る火山の抽出

1. 2 原子力発電所に影響を及ぼし得る火山

1. 2. 2 船形山の詳細検討 【Step2】

Step2

- 中野ほか編(2013)によれば、船形山は「泉ヶ岳火山と船形火山から構成される」とされていることから、船形山に泉ヶ岳火山を含めて活動履歴の検討を行った。
- また、中野ほか編(2013)では、泉ヶ岳火山の活動年代が1.5～1.1Ma、船形火山の活動年代が0.9～0.5Maとされていることから、船形山の活動年代としては、1.5～0.5Maとなる。

船形山の休止期間は年代測定値を考慮した検討結果(下図)から、最大でも0.31Maである。一方、最新活動からの経過期間は0.56Maである。



最大休止期間よりも最新活動からの経過期間が長いことから、船形山は将来の活動可能性のない火山と評価した。

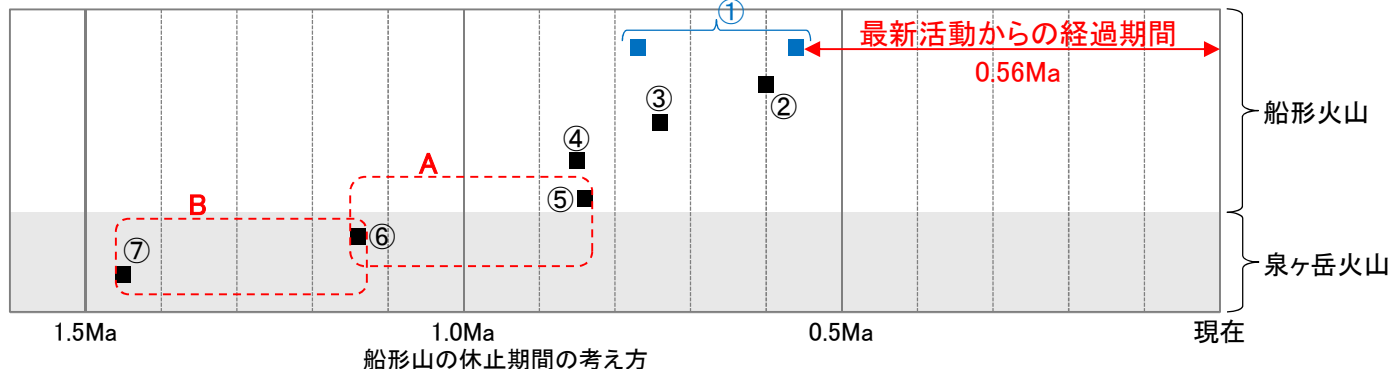
船形山の活動履歴

地質時代 (Ma)	噴出物※	年代 (Ma)	体積 (km ³)	参考文献	
第四紀 更新世	完新世			Wada (1981) 今田・大場 (1989) 今田 (1989) 梅田ほか(1999) 第四紀火山カタログ委員会編 (1999) 中野ほか編 (2013)	
	船形火山	蛇ヶ岳溶岩類	不明		25
		①花染山溶岩類	0.56 0.77		
		②後白髪上部溶岩類	0.60		
		③三峰山溶岩類	0.74		
		後白髪下部溶岩類	不明		
		④船形溶岩類	0.85		
		⑤船形火山初期噴出物	0.84		
	泉ヶ岳火山	⑥泉ヶ岳溶岩類	1.14		3
		⑦北泉ヶ岳溶岩類	1.45		
黒鼻溶岩類		不明			

※ 船形山の噴出物の層序については補足説明資料p16に示す。

A
休止期間: 0.30Ma
1.14-0.84
⑥ ⑤

B
休止期間: 0.31Ma
1.45-1.14
⑦ ⑥



1. 原子力発電所に影響を及ぼし得る火山の抽出

1. 2 原子力発電所に影響を及ぼし得る火山

1. 2. 2 船形山の詳細検討 【Step3】

Step3

船形山の休止期間の取り方として、年代測定の実差も考慮した結果(下図)から、最大でも0.42Maであり、最新活動からの経過期間(0.53Ma)よりも短いことを確認した。

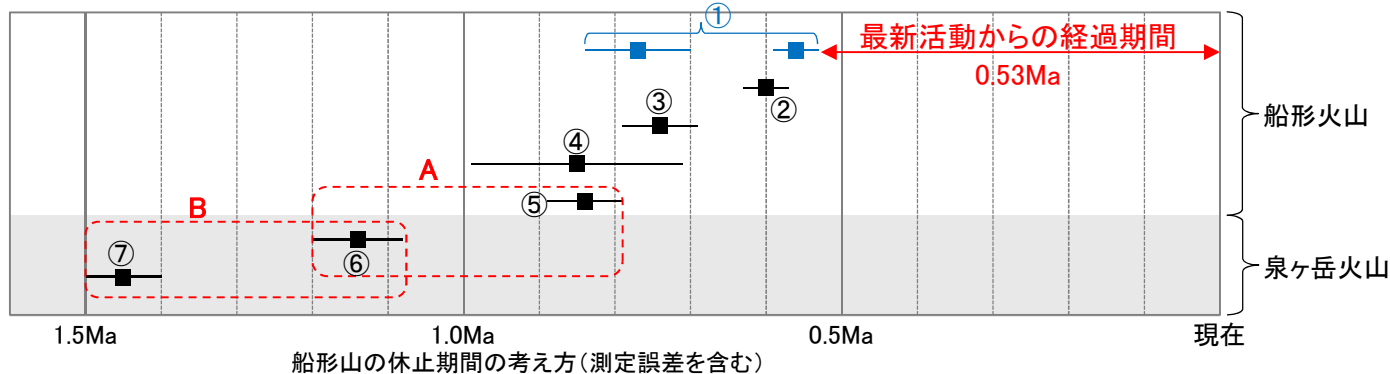
船形山の活動履歴

地質時代 (Ma)	噴出物*	年代 (Ma)	体積 (km ³)	参考文献		
第四紀	完新世			Wada (1981) 今田・大場 (1989) 今田ほか(1989) 梅田ほか(1999) 第四紀火山カタログ委員会編 (1999) 中野ほか編 (2013)		
	更新世	船形火山	蛇ヶ岳溶岩類		不明	25
			①花染山溶岩類		0.56±0.03 0.77±0.07	
			②後白髪上部溶岩類		0.60±0.03	
			③三峰山溶岩類		0.74±0.05	
			後白髪下部溶岩類		不明	
			④船形溶岩類		0.85±0.14	
		⑤船形火山初期噴出物	0.84±0.05			
	0.90					
	更新世	泉ヶ岳火山	⑥泉ヶ岳溶岩類		1.14±0.06	3
⑦北泉ヶ岳溶岩類			1.45±0.05			
黒鼻溶岩類			不明			
1.50						

* 船形山の噴出物の層序については補足説明資料p16に示す。

A
休止期間: 0.41Ma
(1.14+0.06) - (0.84-0.05)
⑥ ⑤

B
休止期間: 0.42Ma
(1.45+0.05) - (1.14-0.06)
⑦ ⑥



船形山の休止期間の考え方(測定誤差を含む)

1. 原子力発電所に影響を及ぼし得る火山の抽出

1. 2 原子力発電所に影響を及ぼし得る火山

1. 2. 3 猫魔ヶ岳の詳細検討 【Step2】

Step2

- 中野ほか編(2013)によれば、猫魔ヶ岳の活動年代が1.0~0.8Maとなっている。
- また、三村(2002)によれば、猫魔ヶ岳は「古猫魔火山と新猫魔火山に分けられる」とされており、古猫魔火山の活動年代が1~0.7Ma、新猫魔火山の活動年代が0.5~0.4Maとされている。

猫魔ヶ岳の休止期間は年代測定値を考慮した検討結果(下図)から、最大でも0.36Maである。一方、最新活動からの経過期間は0.4Maである。



最大休止期間よりも最新活動からの経過期間が長いことから、猫魔ヶ岳は将来の活動可能性のない火山と評価した。

A
 休止期間: 0.28Ma
 0.68 - 0.40
 ② ①

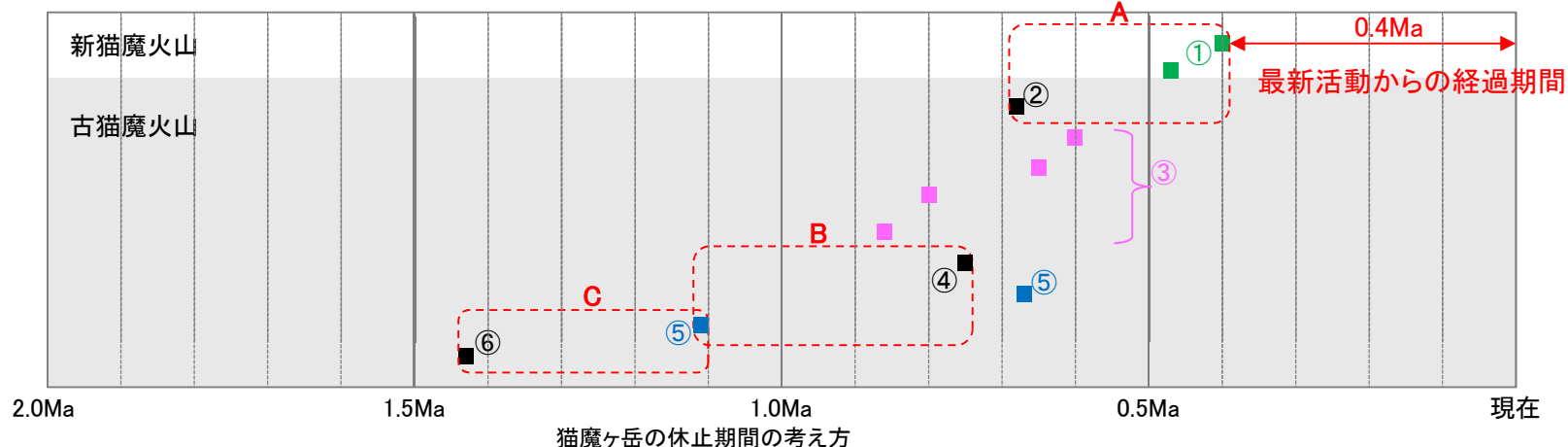
B
 休止期間: 0.36Ma
 1.11 - 0.75
 ⑤ ④

C
 休止期間: 0.32Ma
 1.43 - 1.11
 ⑥ ⑦

猫魔ヶ岳の活動履歴

地質時代 (Ma)		噴出物*		年代 (Ma)	体積 (km ³)	参考文献	
第四紀	完新世					NEDO(1990) 三村(2002) 中野ほか編(2013)	
	0.80	新猫魔火山	1349m溶岩	安山岩溶岩	不明		1.2
			①猫魔ヶ岳溶岩	デイサイト溶岩	0.4 0.47		
			雄子沢岩屑なだれ堆積物	岩屑なだれ堆積物	不明		-
	更新世	古猫魔火山	②扇ヶ峰溶岩	安山岩溶岩及び溶岩円頂丘	0.68		15
			③主山体溶岩 (雄国山溶岩を含む)	安山岩	0.60 0.65 0.80 0.86		
			④萩平火砕流堆積物	火山岩塊火山灰流堆積物	0.75		
			⑤羽山溶岩	安山岩溶岩	0.67 1.11		
			⑥雄国沼北溶岩	安山岩溶岩	1.43		
	1.00						

※ 猫魔ヶ岳の噴出物の層序については補足説明資料p271に示す。



1. 原子力発電所に影響を及ぼし得る火山の抽出

1. 2 原子力発電所に影響を及ぼし得る火山

1. 2. 3 猫魔ヶ岳の詳細検討 【Step3】

Step3

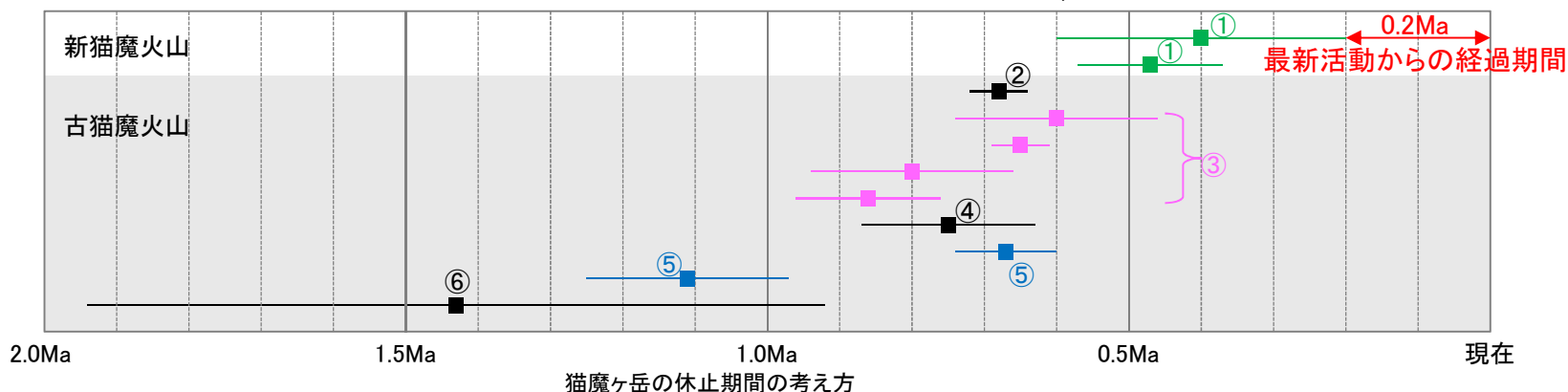
猫魔ヶ岳の休止期間の取り方として、年代測定の結果(下図)、最新活動からの経過期間よりも休止期間の方が長くなるものの、年代測定の結果が非常に大きいものもあることから、これらの誤差を考慮することは将来の活動可能性に関する評価には適していないと考える。

なお、猫魔ヶ岳による設計対応不可能な火山事象が敷地に与える影響について、補足説明資料p26に示す。

猫魔ヶ岳の活動履歴

地質時代 (Ma)		噴出物 [※]		年代 (Ma)	体積 (km ³)	参考文献	
第四紀	完新世					NEDO(1990) 三村(2002) 中野ほか編(2013)	
	新猫魔火山	1349m溶岩	安山岩溶岩	不明	1.2		
		①猫魔ヶ岳溶岩	デイサイト溶岩	0.4±0.2 0.47±0.1			
		雄子沢岩屑なだれ堆積物	岩屑なだれ堆積物	不明			-
	更新世	古猫魔火山	②扇ヶ峰溶岩	安山岩溶岩及び溶岩円頂丘	0.68±0.04		15
			③主山体溶岩 (雄国山溶岩を含む)	安山岩	0.60±0.14 0.65±0.04 0.80±0.14 0.86±0.1		
			④萩平火砕流堆積物	火山岩塊火山灰流堆積物	0.75±0.12		
			⑤羽山溶岩	安山岩溶岩	0.67±0.07 1.11±0.14		
			⑥雄国沼北溶岩	安山岩溶岩	1.43±0.51		
			1.00				

※ 猫魔ヶ岳の噴出物の層序については補足説明資料p27に示す。



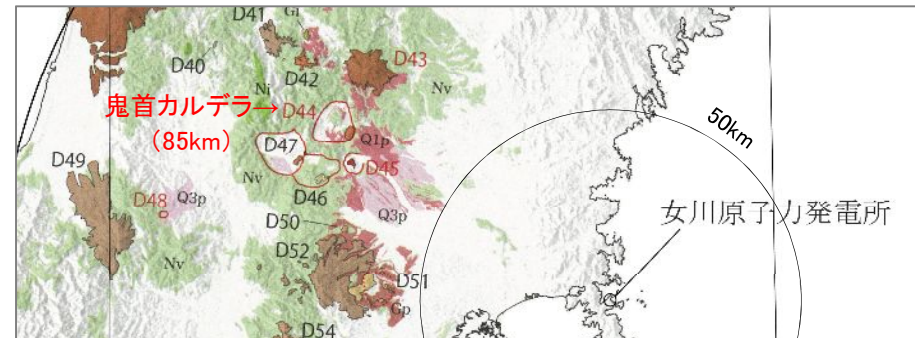
1. 原子力発電所に影響を及ぼし得る火山の抽出

1.2 原子力発電所に影響を及ぼし得る火山

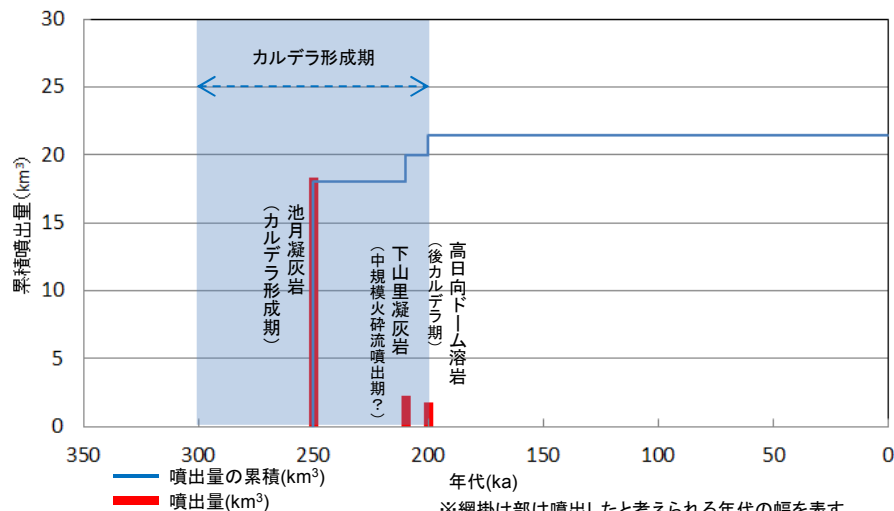
1.2.4 鬼首カルデラの詳細検討【概要】

鬼首カルデラの概要

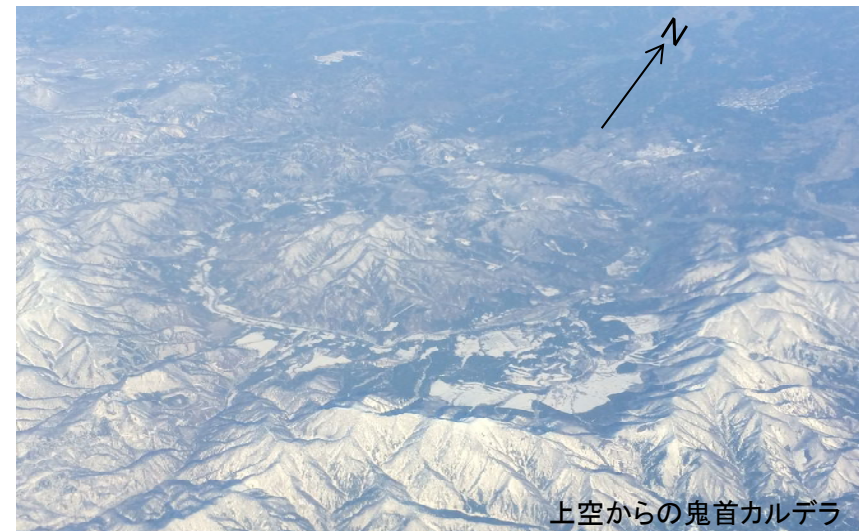
火山名	鬼首カルデラ
敷地からの距離	約85km
火山の形式	カルデラ火山
活動年代	約30万年～20万年前
概要	鬼首カルデラは、荒雄岳(983.9m)や高日向山(768.8m)等の中央火口丘を有し、楕円形のカルデラリムを示す。カルデラの長軸方向はNNW-SSE方向で長さ約10km、短軸方向はENE-WSW方向で長さ約7.5kmである。
噴出物	<ul style="list-style-type: none"> ➢ 最大噴出量はカルデラ形成期の池月凝灰岩(20～30万年前)の約18.0km³。末端部は荷坂などの火砕流により埋積されており詳細は不明だが、少なくとも発電所より約50km離れた地点で確認されている。 ➢ 最新の噴火活動は、溶岩ドームを形成した高日向ドーム溶岩の活動期(約20万年前)に発生。



敷地を中心とする半径160kmの範囲の火山地質図 (中野ほか編(2013)による)



鬼首カルデラの噴出量-年代階段ダイヤグラム



上空からの鬼首カルデラ

上表及び噴出量-年代階段ダイヤグラムは、第四紀火山カタログ委員会編(1999)及びYamada(1988)等の文献調査の結果を基に東北電力が独自に作成したものである。

1. 原子力発電所に影響を及ぼし得る火山の抽出

1.2 原子力発電所に影響を及ぼし得る火山

1.2.4 鬼首カルデラの詳細検討【評価】

【噴気・熱水活動について】

- 中野ほか編(2013)では、片山地獄(片山火口)などで活発な噴気活動があることを示している。
- 福留(1982)では、鬼首カルデラには、多くの源泉および噴気孔が存在するが、この約半数は盆地外縁に沿って環状に流路をとる荒雄川の河川沿いに分布しており、カルデラの環状輪郭と平行な同心円状の構造的弱線が伏在し、温泉などもこれに支配されていると考えられている。
- Yamada(1988)では、カルデラの地下深部にはすでに固結した高温をまだ保っている貫入岩体が存在し、そのような岩体から主に熱伝導により周囲に熱が拡散して、一部はマグマ中の揮発成分が断裂面などを通して周囲に発散し熱を運ぶ役割をしていると推定している。
- 清棲(1986)によれば、炭酸ガスの同位体比からマグマ起源のものが含まれているとし、鬼首の地熱流体は火山活動と関連性があることを指摘している。

【活動年代について】

- 鬼首カルデラの活動年代に関しては、第四紀火山カタログ委員会編(1999)、中野ほか編(2013)及び西来ほか編(2014)のいずれの文献においても約30万～20万年前とされている。
- Yamada(1988)、阪口・山田(1988)、早田(1989)、土谷ほか(1997)では、約20万年前以降、噴出物を伴う噴火活動は報告されていない。
- 気象庁編(2013)では、活火山とされていない。
- これらの文献を基に作成した階段ダイヤグラムからも、鬼首カルデラは活動的ではないと判断される。

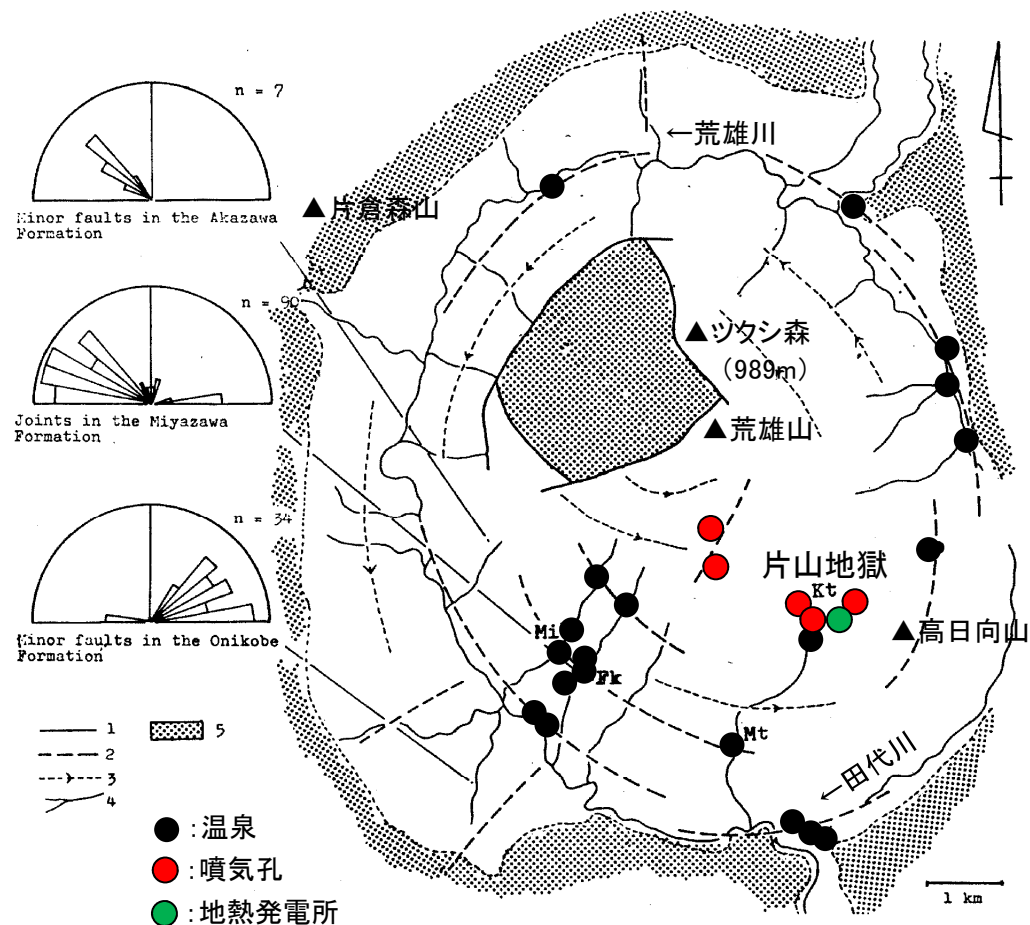


Fig. 1 Structural map of the Onikobe basin.

1:断層, 2:推定される伏在断層, 3:走向線, 4:河川, 5:基盤岩,
Mi:宮沢, Fk:吹上, Kt:片山

(福留(1982)に加筆)

鬼首カルデラは、「将来の活動可能性のない火山」と評価する。

なお、鬼首カルデラによる設計対応不可能な火山事象が敷地に与える影響については、補足説明資料p10に示す。

1. 原子力発電所に影響を及ぼし得る火山の抽出

1.2 原子力発電所に影響を及ぼし得る火山

1.2.5 原子力発電所に影響を及ぼし得る火山のまとめ

➤ 敷地を中心とする半径160kmの範囲の第四紀火山(31火山)のうち、原子力発電所に影響を及ぼし得る火山は下表の赤字及び青字の火山である。

No.	火山名※1	敷地からの距離(km)	活動時期※2				完新世の活動	将来の活動可能性	
			更新世	第四紀	完新世	現在		判断根拠	判断根拠
1	青ノ木森	134					なし	なし	①
2	松倉山	126	◆				なし	なし	①
3	川尻三森山	111	◆				なし	なし	①
4	焼石岳	102		■			なし	あり	—
5	鳥海山	148		■			あり	—	—
6	甌山	123	■				なし	なし	①
7	小比内山	109	■				なし	なし	①
8	高松岳	100		■			なし	なし	①
9	栗駒山	87		■			あり	—	—
10	鬼首カルデラ	85		■			なし	なし	①
11	鳴子カルデラ	76		■			あり	—	—
12	赤倉カルデラ	85	■				なし	なし	①
13	向町カルデラ	94	■				なし	なし	①
14	肘折カルデラ	117				◆	あり	—	—
15	月山	129		■			なし	あり	—
16	葉菜山	72	■				なし	なし	①

■ : 活動期間を示す。
◆ : 単一活動として評価。

No.	火山名※1	敷地からの距離(km)	活動時期※2				完新世の活動	将来の活動可能性	
			更新世	第四紀	完新世	現在		判断根拠	判断根拠
17	七ツ森カルデラ	64	■				なし	なし	①
18	船形山	77		■			なし	なし	②
19	安達	76				◆	なし	なし	①
20	大東岳	86	◆				なし	なし	①
21	神室岳	90	◆				なし	なし	①
22	雁戸山	92		■			なし	なし	①
23	青麻山	85		■			なし	なし	①
24	蔵王山	97		■			あり	—	—
25	三吉・葉山	107	■				なし	なし	①
26	白鷹山	117		■			なし	なし	①
27	笹森山	130	■				なし	なし	①
28	吾妻山	140		■			あり	—	—
29	安達太良山	136		■			あり	—	—
30	磐梯山	153		■			あり	—	—
31	猫魔ヶ岳	156	■				なし	なし	②

※1 中野ほか編(2013)による。

※2 中野ほか編(2013)等による。

※3 ①: 最新活動からの経過時間が全活動期間より長い(p10参照)。

②: 最新活動からの経過時間が過去の最大休止期間より長い(p10参照)。

1. 原子力発電所に影響を及ぼし得る火山の抽出

1.2 原子力発電所に影響を及ぼし得る火山

1.2.5 原子力発電所に影響を及ぼし得る火山のまとめ 【位置図】

- 敷地を中心とする半径160kmの範囲の第四紀火山(31火山)のうち、原子力発電所に影響を及ぼし得る火山は下表の赤字及び青字の火山であり、敷地との位置関係を右図に示す。

敷地を中心とする半径160kmの範囲の第四紀火山一覧

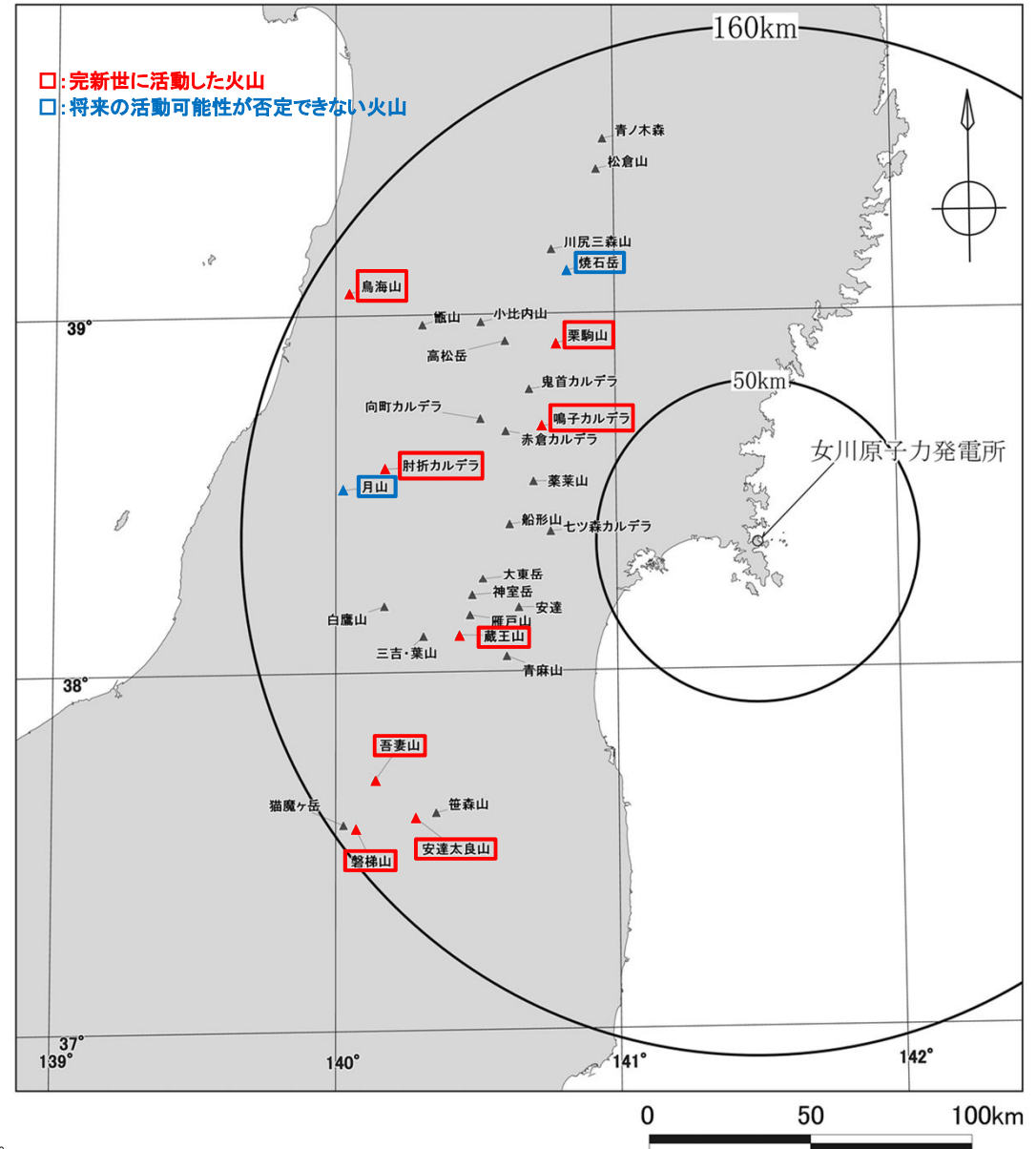
火山名	最新活動時期	敷地からの距離(km)
青ノ木森	G	134
松倉山	G	126
川尻三森山	G	111
焼石岳	Q2	102
鳥海山	H	148
甌山	Q1	123
小比内山	Q2	109
高松岳	Q2	100
栗駒山	H	87
鬼首カルデラ	Q2	85
鳴子カルデラ	H	76
赤倉カルデラ	G	85
向野カルデラ	Q2	94
肘折カルデラ*	Q3	117
月山	Q2	129
葉葉山	Q1	72
七ツ森カルデラ	Q1	64
船形山	Q2	77
安達	Q3	76
大東岳	Q1	86
神室岳	Q1	90
雁戸山	Q2	92
青麻山	Q2	85
蔵王山	H	97
三吉・葉山	G	107
白鷹山	Q1	117
笹森山	G	130
吾妻山	H	140
安達太良山	H	136
磐梯山	H	153
猫魔ヶ岳	Q1	156

火山名および最新活動時期は、中野ほか編(2013)による。

【最新活動時期】

H: 完新世, Q3: 後期更新世, Q2: 中期更新世, Q1: 前期更新世後半, G: 前期更新世前半

※ 肘折カルデラについては、気象庁の『日本活火山総覧(第4版)』(2013)を考慮して抽出した。



2. 抽出された火山の火山活動に関する個別評価

2. 抽出された火山の火山活動に関する個別評価

- 原子力発電所に影響を及ぼし得る火山について、火山活動に関する個別評価を行った。

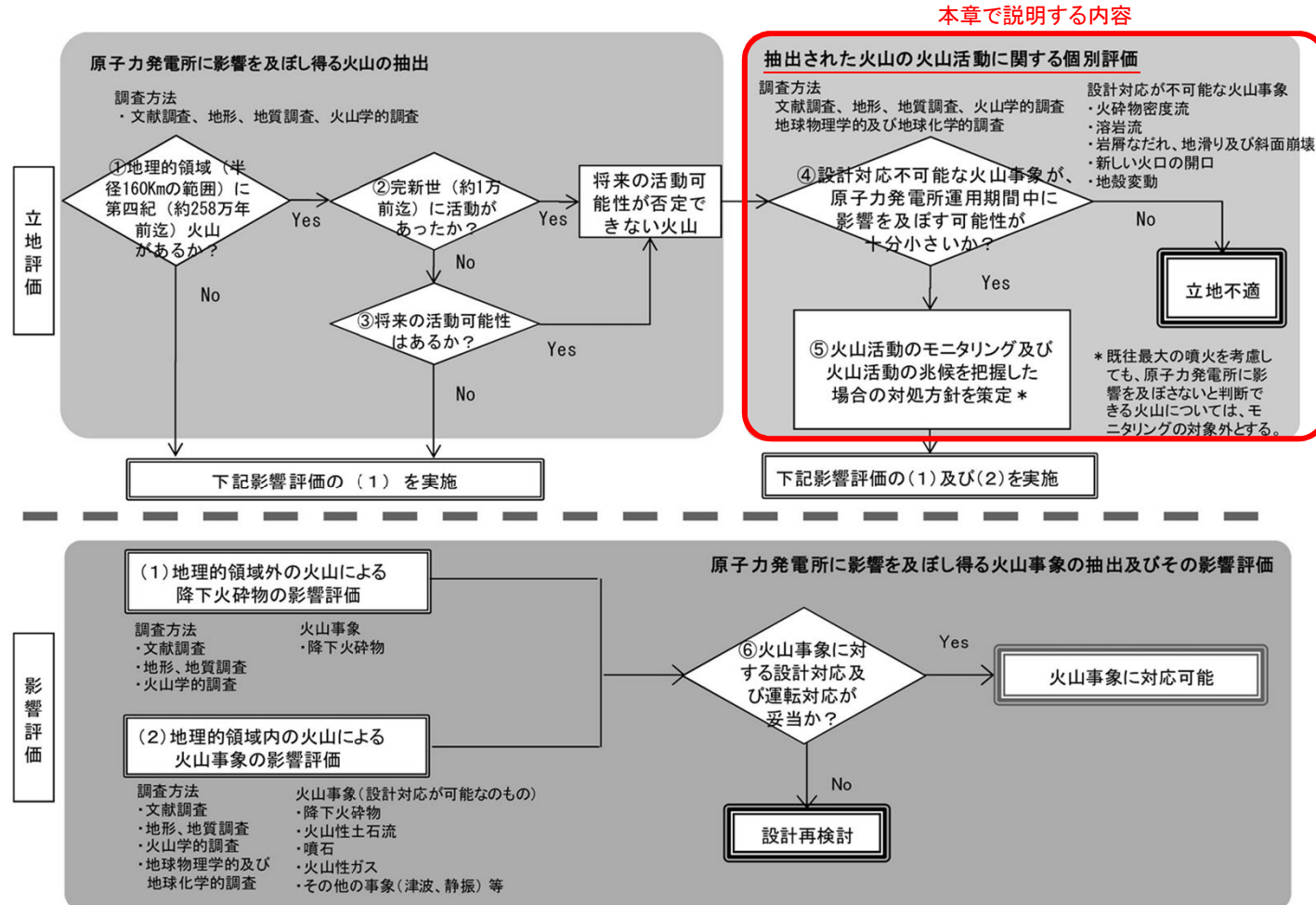


図1 原子力発電所に影響を及ぼす火山影響評価の基本フロー

「原子力発電所の火山影響評価ガイド」より抜粋，一部加筆

2. 抽出された火山の火山活動に関する個別評価

原子力発電所に影響を及ぼし得る火山（下表）について、設計対応不可能な火山事象（右図）が発電所運用期間中に影響を及ぼす可能性について検討した。

原子力発電所に影響を及ぼし得る火山

火山名	敷地からの距離(km)
焼石岳	102
鳥海山	148
栗駒山	87
鳴子カルデラ	76
肘折カルデラ	117
月山	129
蔵王山	97
吾妻山	140
安達太良山	136
磐梯山	153

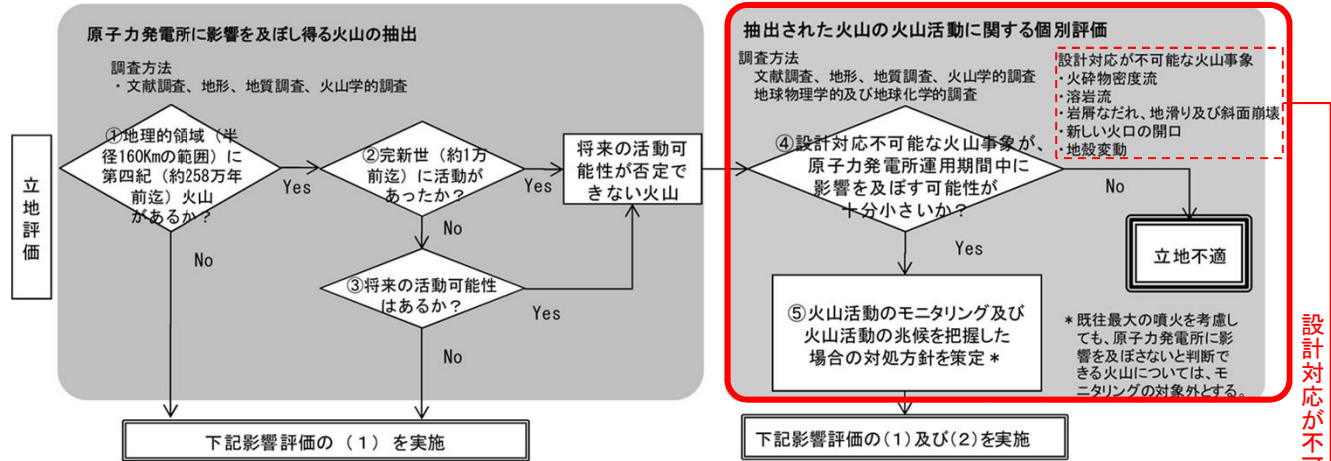


表1 原子力発電所に影響を与える可能性のある火山事象及び位置関係^{※1}

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、サージ及びブラスト	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、地殻変動、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	継続的激動、多重衝撃	注4
13. 熱水系及び地下水の異常	熱水、腐食性水、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。

設計対応が不可能な火山事象

2. 抽出された火山の火山活動に関する個別評価

- 検討する必要がある設計対応不可能な火山事象は下表のとおりである。

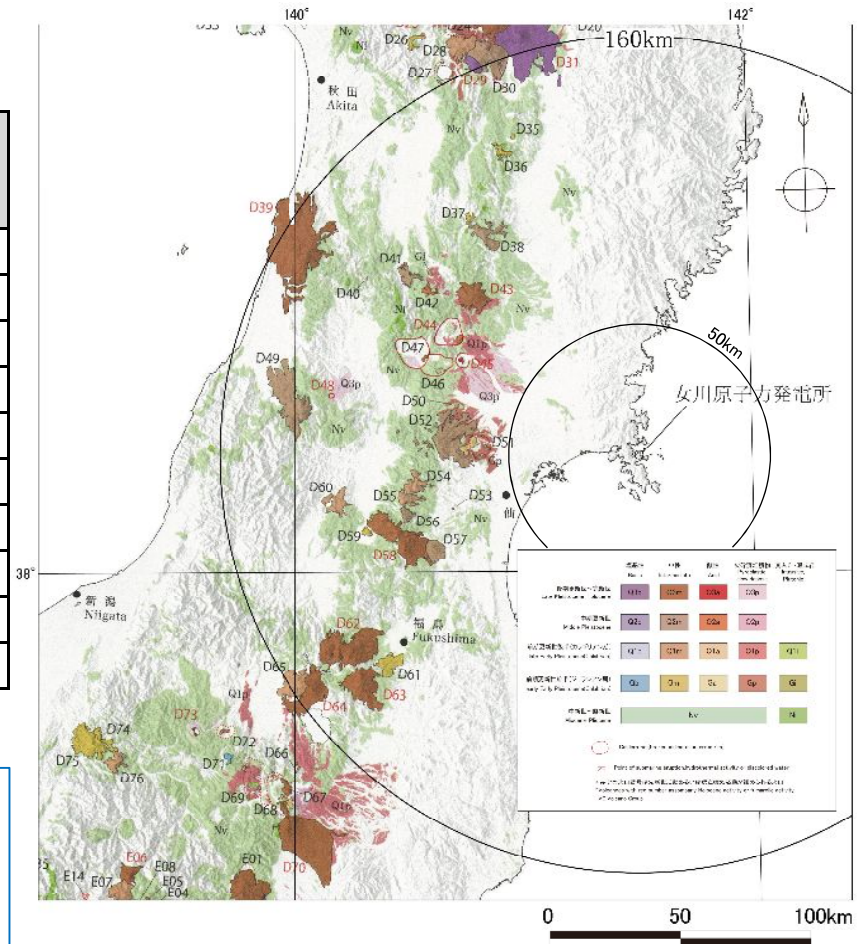
原子力発電所に影響を及ぼし得る火山と検討すべき設計対応不可能な火山事象

火山名	敷地からの距離(km)	火砕物密度流	溶岩流	岩屑なだれ他	新しい火口の開口	地殻変動
		160km	50km	50km		
D38 焼石岳	102	○	—	—	○	○
D39 鳥海山	148	○	—	—	○	○
D43 栗駒山	87	○	—	—	○	○
D45 鳴子カルデラ	76	○	—	—	○	○
D48 肘折カルデラ	117	○	—	—	○	○
D49 月山	129	○	—	—	○	○
D58 蔵王山	97	○	—	—	○	○
D62 吾妻山	140	○	—	—	○	○
D63 安達太良山	136	○	—	—	○	○
D64 磐梯山	153	○	—	—	○	○

○:要検討, —:検討不要

- 敷地と評価対象火山との位置関係から、火砕物密度流について、個別の検討を実施した。
➤ 検討結果を次頁以降に示す。

牡鹿半島に位置している敷地は、第四紀を通じて、火山フロントより50km以上離れており、敷地周辺では火成活動は確認されていないことから、これらの事象が発電所の運用期間中に影響を及ぼす可能性は十分小さい。



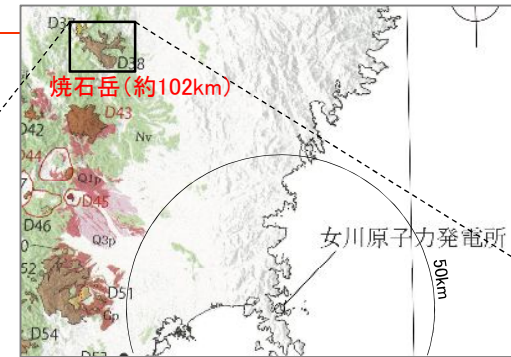
敷地を中心とする半径160kmの範囲の火山地質図
(中野ほか編(2013)による)

2. 抽出された火山の火山活動に関する個別評価

【焼石岳の活動履歴及び火砕物密度流に関する評価】

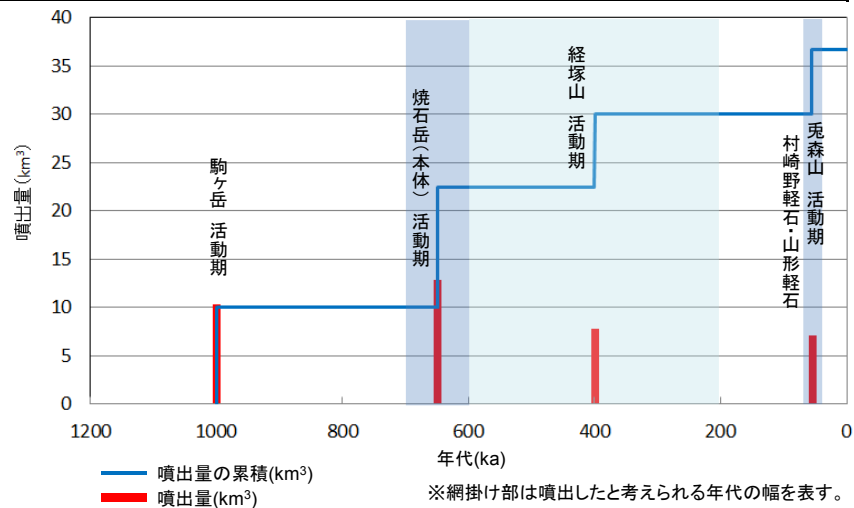
焼石岳の概要

火山名	焼石岳
敷地からの距離	約102km
形式/タイプ	複成火山/溶岩卓越タイプ
活動年代	約100万年～5万年前
概要	焼石岳は岩手県の南西部に位置し、焼石岳(標高:1,548m)を主峰とし、経塚山、駒ヶ岳等から構成される。主に安山岩からなり、デイサイトを伴う小規模火山の群れを形成している。
噴出物	<ul style="list-style-type: none"> ➢ 最大噴出量は約12.5km³、焼石岳(本体)の活動期(60～70万年前)に噴出。 ➢ 最新の噴火活動は、溶岩や火砕岩、山形軽石が噴出した焼石兔森山等の活動期(5～6万年前)に発生。 ➢ 火砕物密度流は報告されていない。

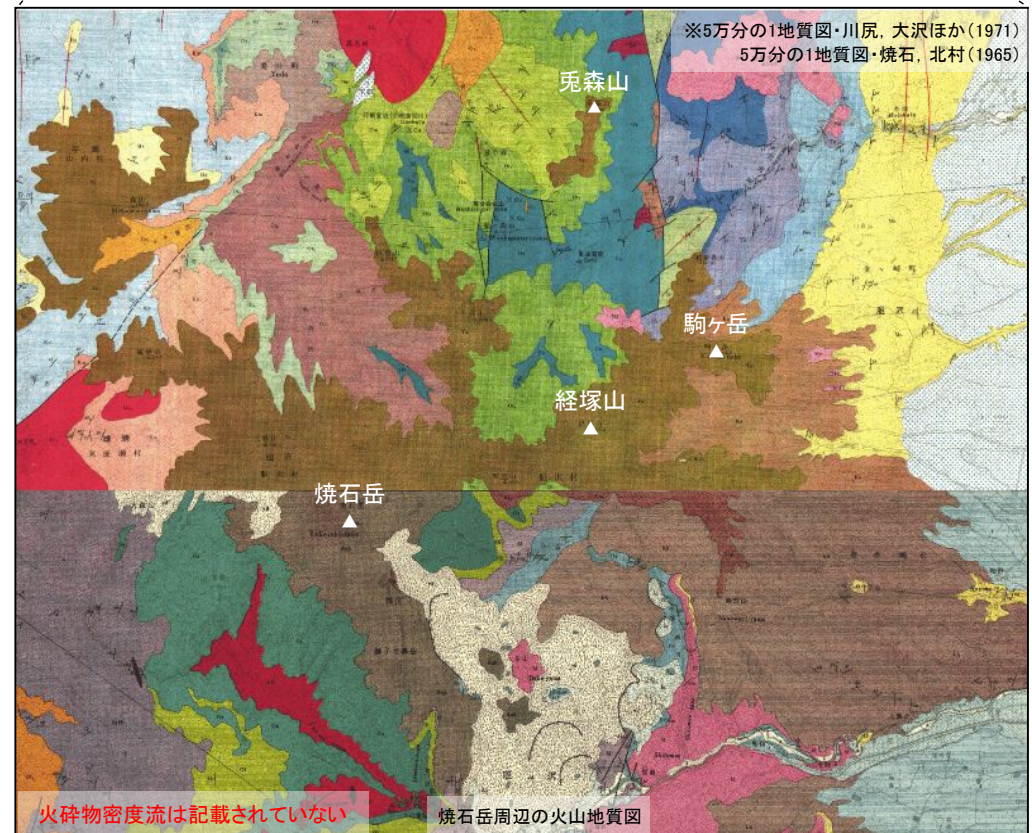
敷地を中心とする半径160kmの範囲の火山地質図
(中野ほか編(2013)による)

焼石岳の火砕物密度流の評価

噴出物は、溶岩や火砕岩、降下軽石が主であり、焼石岳周辺に限られていることから、火砕物密度流が発電所に影響を及ぼす可能性はない。



焼石岳の噴出量一年代階段ダイアグラム



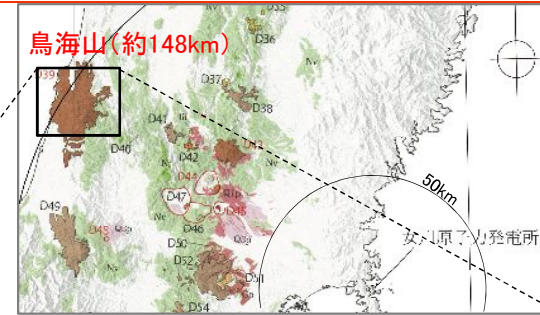
概要の表及び噴出量一年代階段ダイアグラムは、第四紀火山カタログ委員会編(1999)及び照井・瀬川(1994)等の文献調査の結果を基に東北電力が独自に作成したものである。

2. 抽出された火山の火山活動に関する個別評価 【鳥海山の活動履歴及び火砕物密度流に関する評価】

第189回審査会合
資料2-1加筆修正

鳥海山の概要

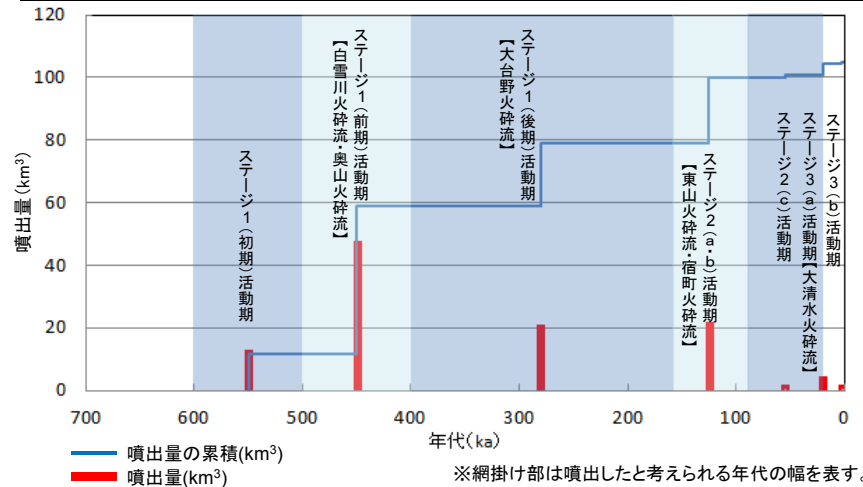
火山名	鳥海山
敷地からの距離	約148km
形式/タイプ	複成火山、溶岩ドーム/溶岩卓越タイプ
活動年代	約60万年前～AD1974年
概要	鳥海山(標高:2,237m)は、秋田県と山形県の県境に位置し、多量の溶岩とそれに伴う少量の火砕岩からなる成層火山で、溶岩地形の凹凸が著しく、2つの馬蹄形カルデラを持つ。大部分の噴出物は安山岩質であり、少量の玄武岩を伴う。
噴出物	<ul style="list-style-type: none"> ➢ 最大噴出量は約47km³、古期成層火山活動期(40～50万年前)に噴出。 ➢ 最新の噴火活動は、泥流・降灰を伴った小規模水蒸気噴火で1974年に発生。 ➢ 火砕物密度流は、6層確認されており、分布範囲は山体周辺に限られる。



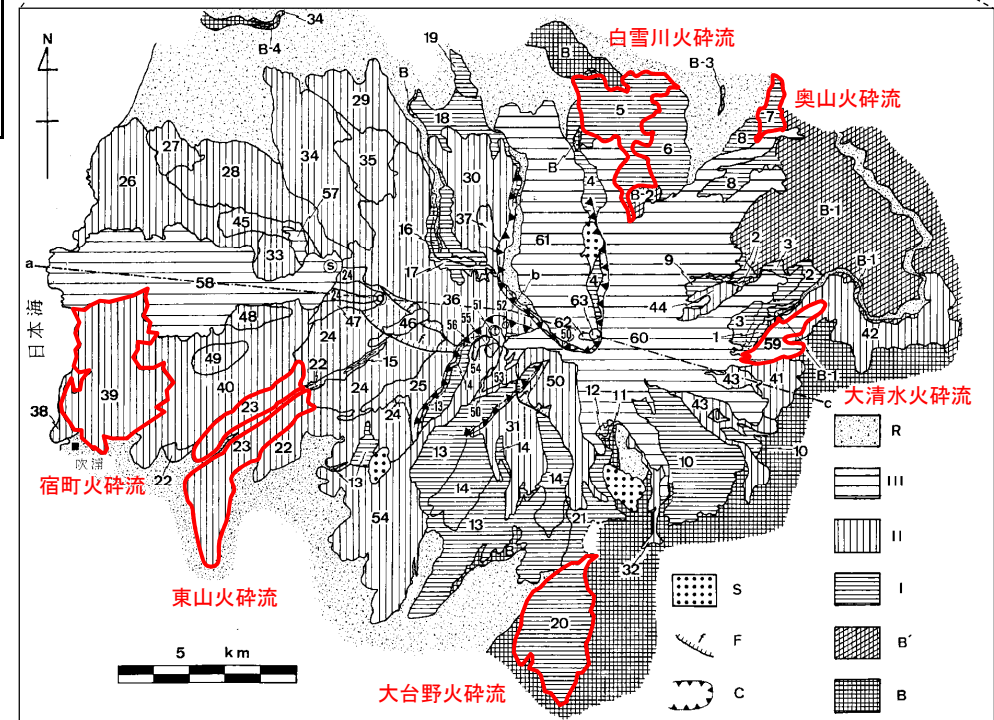
敷地を中心とする半径160kmの範囲の火山地質図
(中野ほか編(2013)による)

鳥海山の火砕物密度流の評価

火砕物密度流は鳥海山周辺に限られることから、発電所に影響を及ぼす可能性はない。



鳥海山の噴出量一年代階段ダイヤグラム



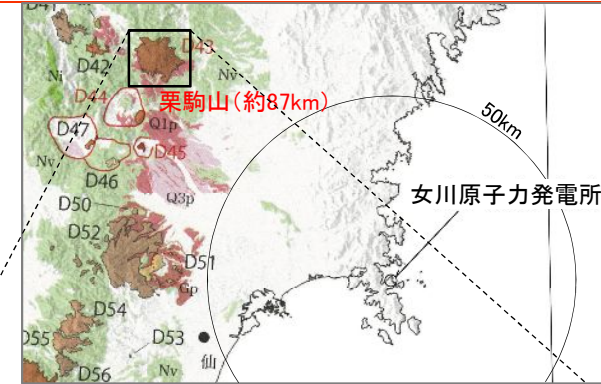
鳥海山火山地質図(林(1984)に一部加筆)

概要の表及び噴出量一年代階段ダイヤグラムは、林(1984)及び伴ほか(2001)等の文献調査の結果を基に東北電力が独自に作成したものである。

2. 抽出された火山の火山活動に関する個別評価 【栗駒山の活動履歴及び火砕物密度流に関する評価】

栗駒山の概要

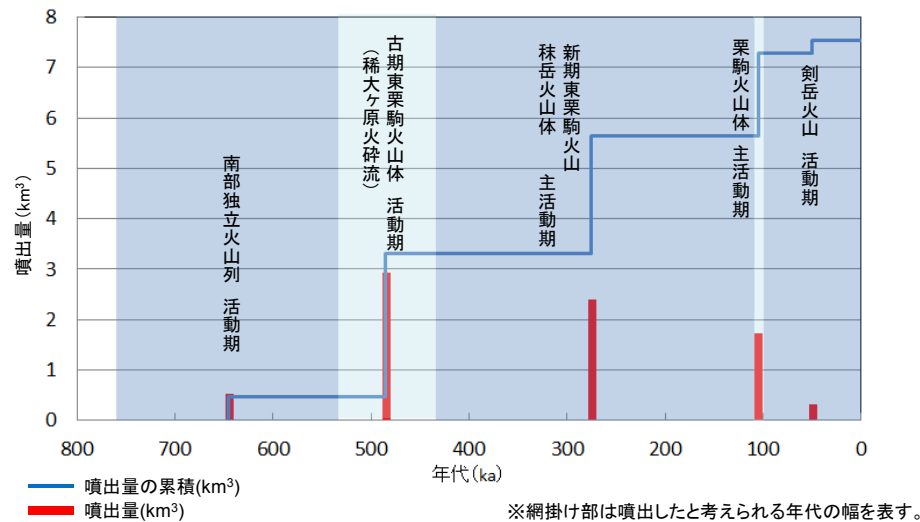
火山名	栗駒山
敷地からの距離	約87km
形式/タイプ	複成火山、溶岩ドーム/溶岩卓越タイプ
活動年代	約76万年前～AD1944年
概要	栗駒山(標高:1,627m)は、岩手県、秋田県、宮城県の間境付近に位置し、複数の山体から成り、東方に東栗駒山、西方に御駒山、南西方に虚空蔵山、南方に大地森など小さな火山体が北北西-南南東方向に配列する。主に安山岩からなる。
噴出物	<ul style="list-style-type: none"> ▶最大噴出量は約3.3km³、古期東栗駒および南部独立火山列の活動期(44～53万年前)に噴出。 ▶最新の噴火活動は、少量の火砕物を伴った小規模水蒸気噴火で1944年に発生。 ▶火砕物密度流は、1層のみ確認されており、分布範囲は山体周辺に限られる。



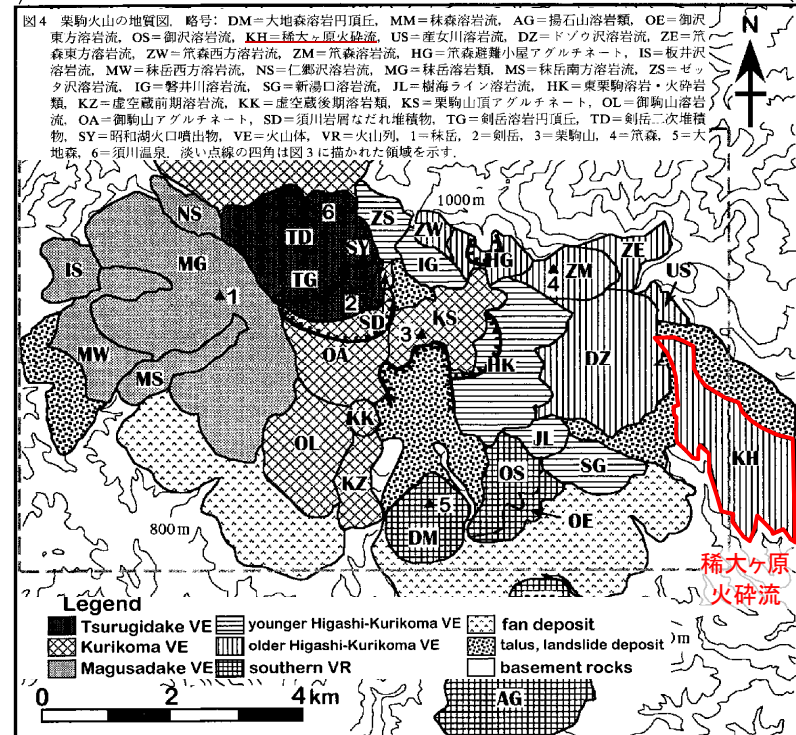
敷地を中心とする半径160kmの範囲の火山地質図
(中野ほか編(2013)による)

栗駒山の火砕物密度流の評価

火砕物密度流は栗駒山周辺に限られることから、発電所に影響を及ぼす可能性はない。



栗駒山の噴出量一年代階段ダイヤグラム



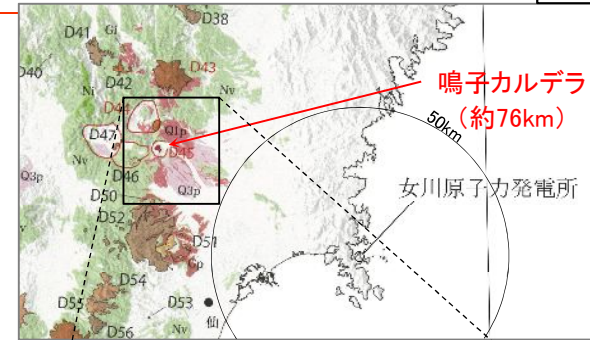
栗駒火山の地質図(藤縄ほか(2001)に一部加筆)

概要の表及び噴出量一年代階段ダイヤグラムは、藤縄ほか(2001)等の文献調査の結果を基に東北電力が独自に作成したものである。

2. 抽出された火山の火山活動に関する個別評価 【鳴子カルデラの活動履歴及び火砕物密度流に関する評価】

鳴子カルデラの概要

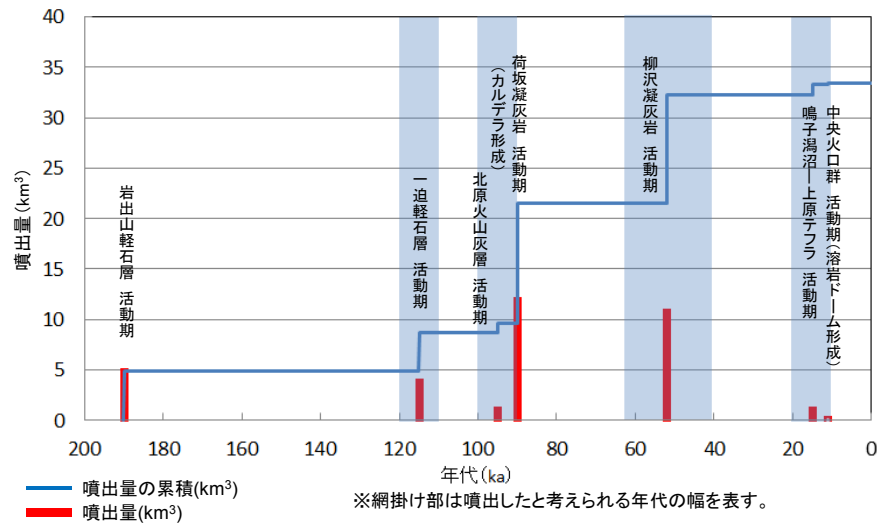
火山名	鳴子カルデラ
敷地からの距離	約76km
形式/タイプ	カルデラ、溶岩ドーム/降下火砕物卓越タイプ
活動年代	約19万年前～AD837
概要	鳴子カルデラは、宮城県北西部に位置し、直径約7kmの不鮮明な輪郭をもつカルデラとその中央部の溶岩ドーム群からなる。デイサイトの4つの溶岩ドームが一線をなし、それらに囲まれた酸性の火口湖・湯沼の内外やその西側の溶岩ドームの壁では噴気活動が盛んである。
噴出物	<ul style="list-style-type: none"> ➢ 最大噴出量は約11.91km³、カルデラ形成期(約9万年前)に噴出。 ➢ 最新の噴火活動は、水蒸気噴火で837年に発生。 ➢ 火砕物密度流は、2層確認されており、両層とも主にカルデラ東部に分布。



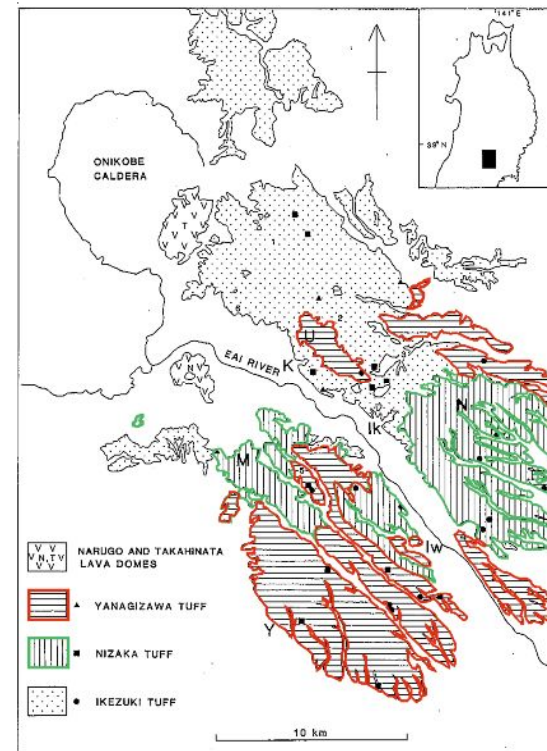
敷地を中心とする半径160kmの範囲の火山地質図
(中野ほか編(2013)による)

鳴子カルデラの火砕物密度流の評価

火砕物密度流の到達範囲は、敷地から十分離れている(約46km)ことから、発電所に影響を及ぼす可能性はない。



鳴子カルデラの噴出量一年代階段ダイアグラム

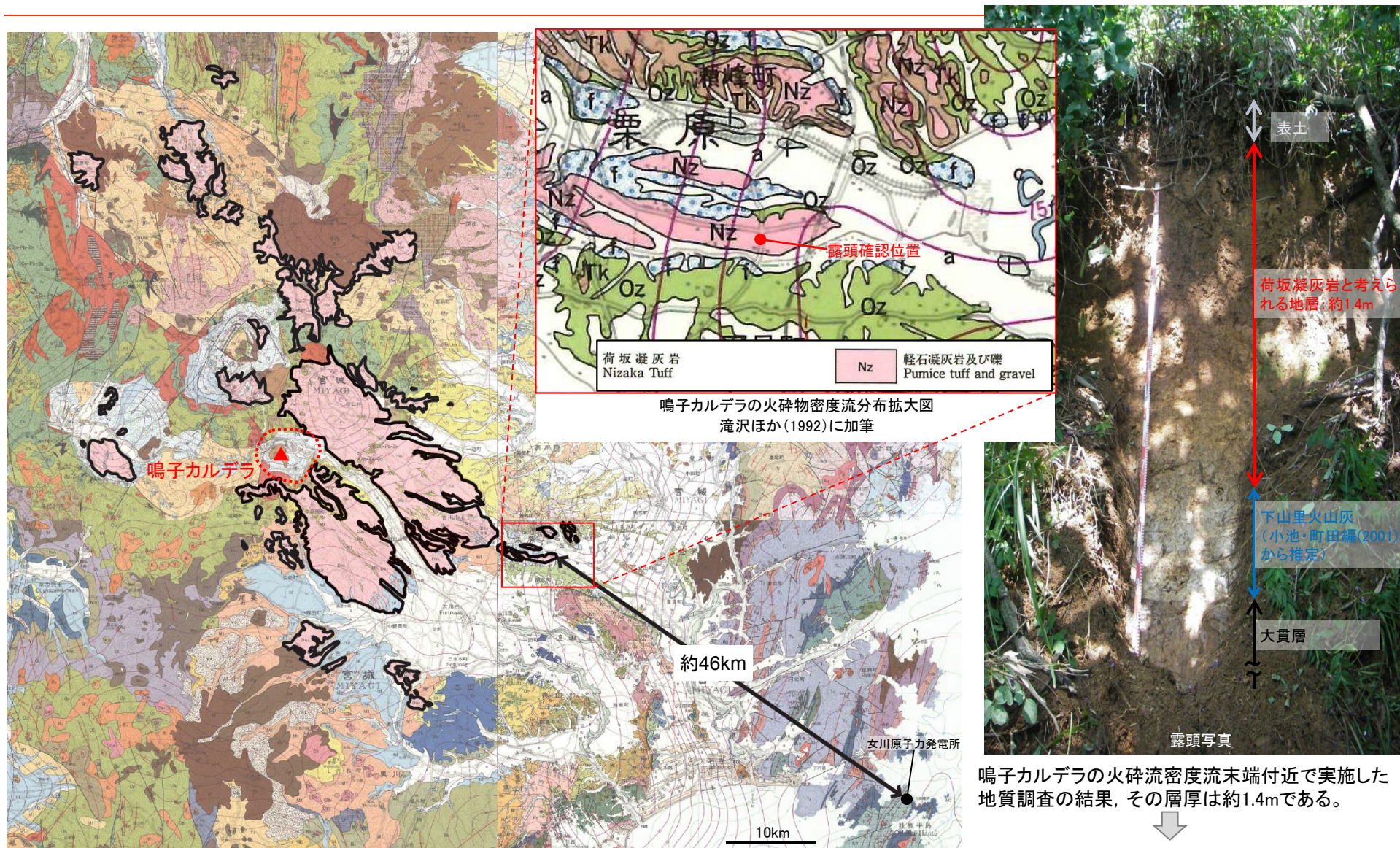


池月凝灰岩・荷坂凝灰岩・柳沢凝灰岩の分布図
(阪口・山田(1988)に加筆)

概要の表及び噴出量一年代階段ダイアグラムは、早田(1989)及び阪口・山田(1988)等の文献調査の結果を基に東北電力が独自に作成したものである。

2. 抽出された火山の火山活動に関する個別評価

【鳴子カルデラの火砕物密度流に関する評価：末端部での層厚】



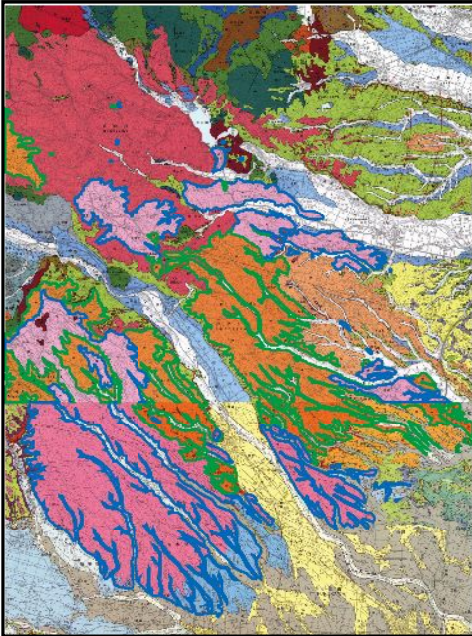
鳴子カルデラの火砕物密度流分布範囲図
(大沢ほか(1987), 大沢ほか(1988), 滝沢ほか(1992), 竹内ほか(2005)に加筆)

鳴子カルデラの火砕流密度流末端付近で実施した地質調査の結果, その層厚は約1.4mである。

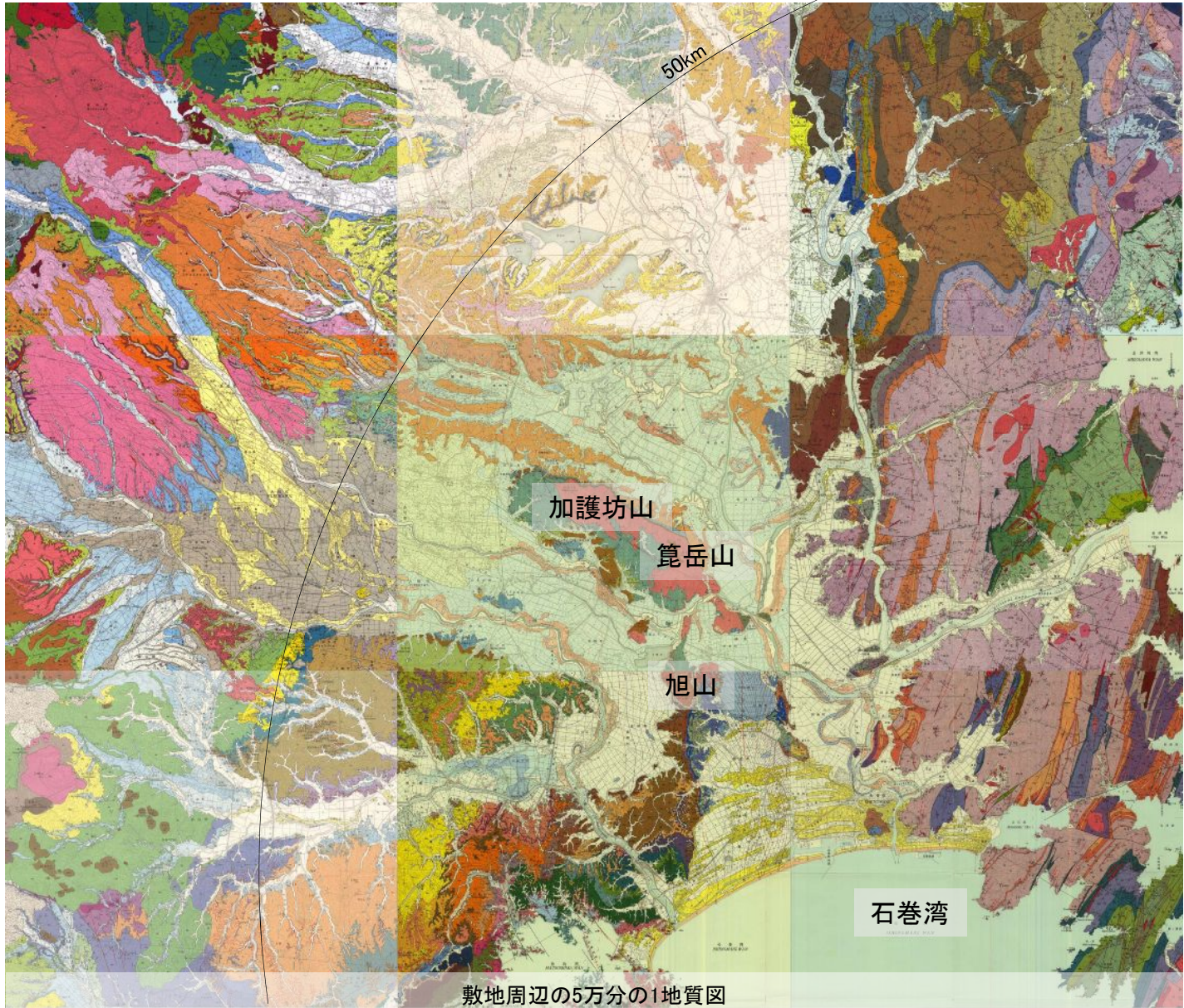
鳴子カルデラの火砕物密度流末端部付近の層厚約1.4mを考慮しても, 敷地からは約46km離れており, 発電所に影響を及ぼす可能性はない。

2. 抽出された火山の火山活動に関する個別評価

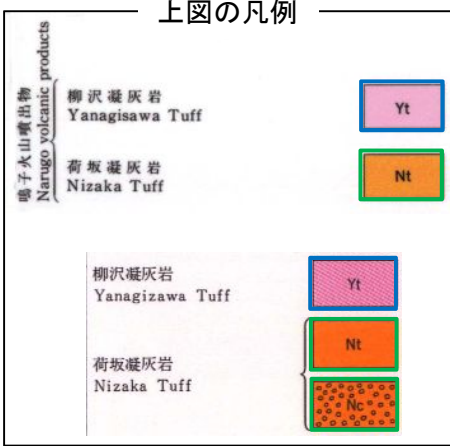
【鳴子カルデラの火砕物密度流に関する評価: 文献調査結果①-1】



鳴子カルデラ起源の火砕流堆積物分布範囲



敷地周辺の5万分の1地質図

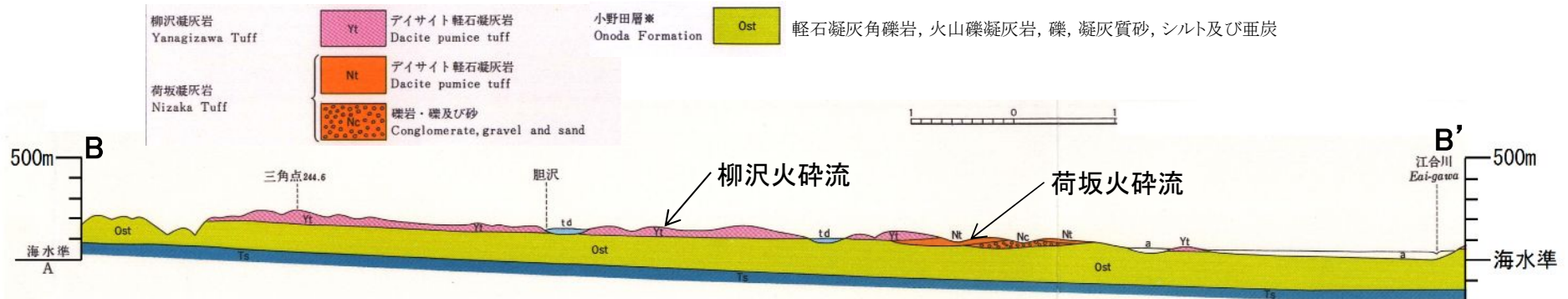
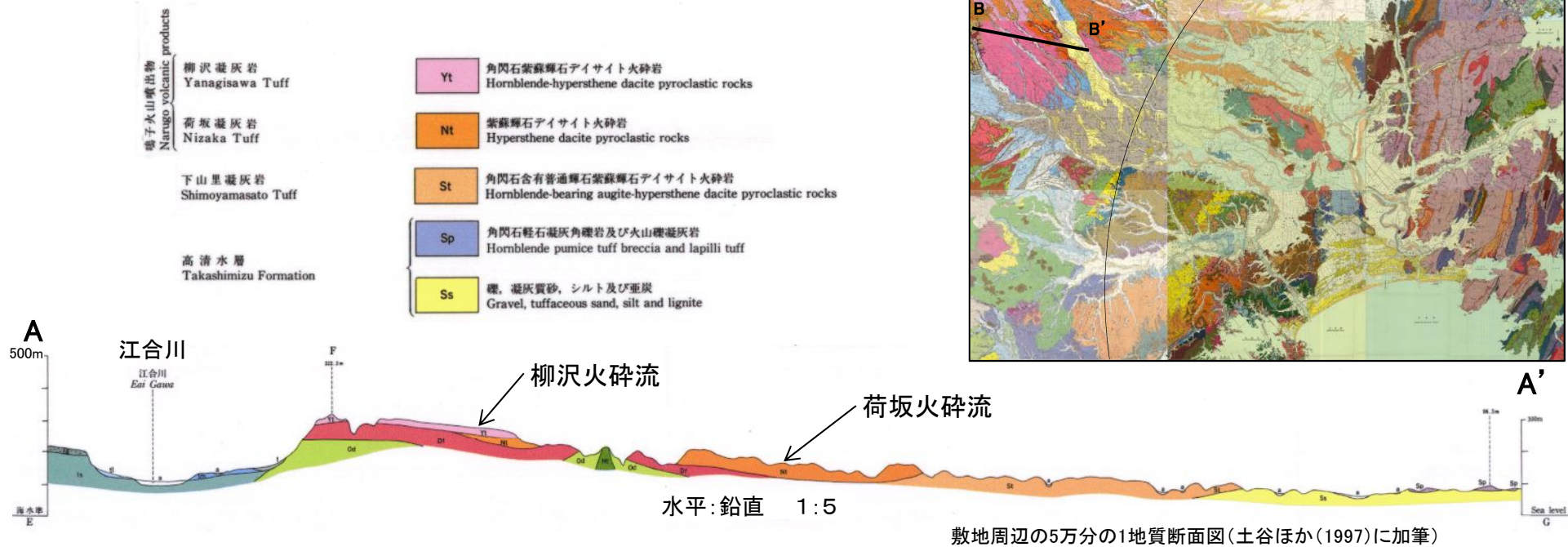
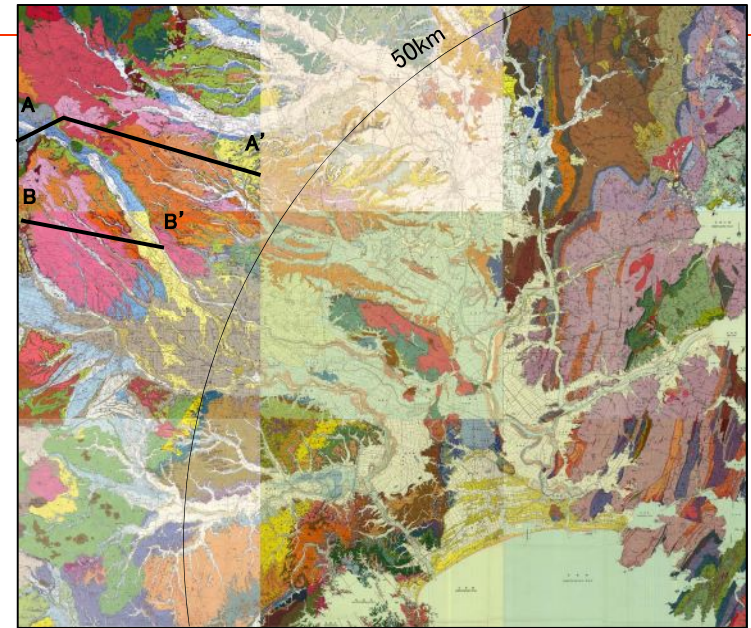


(松野(1967), 高橋・松野(1969), 北村ほか(1981, 1983), 石井ほか(1982), 滝沢ほか(1984, 1990), 竹内・兼子(1996), 土谷ほか(1997)に加筆)

2. 抽出された火山の火山活動に関する個別評価

【鳴子カルデラの火砕物密度流に関する評価: 文献調査結果①-2】

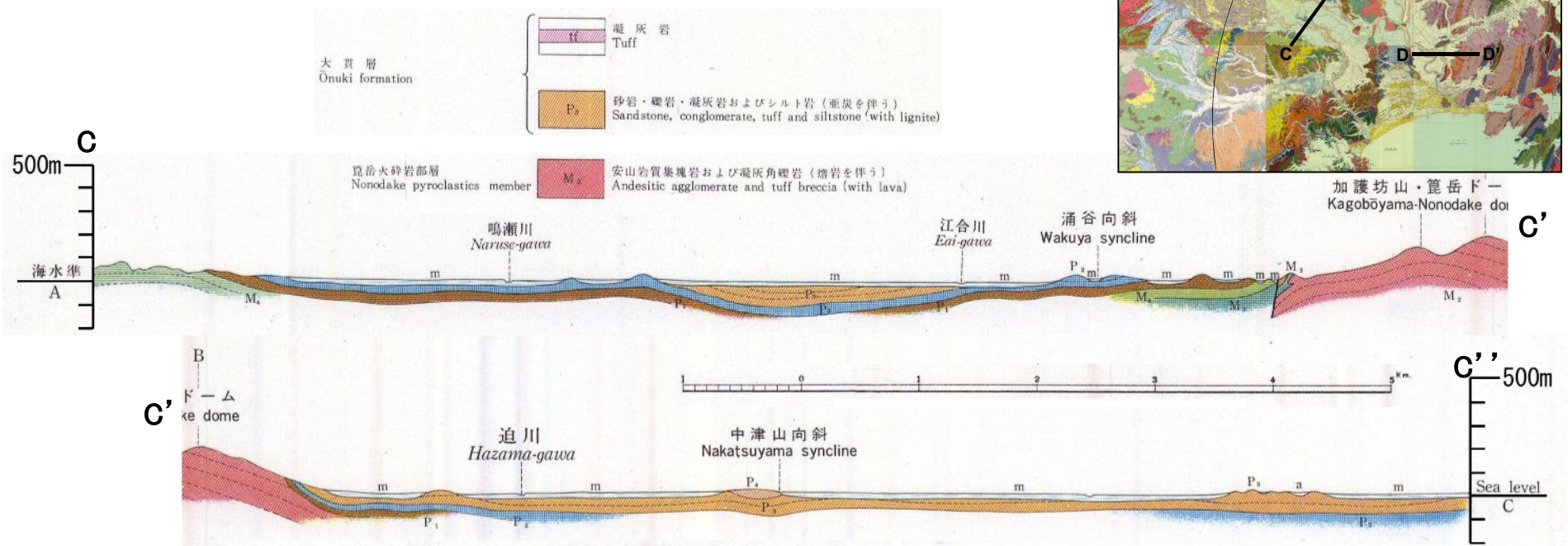
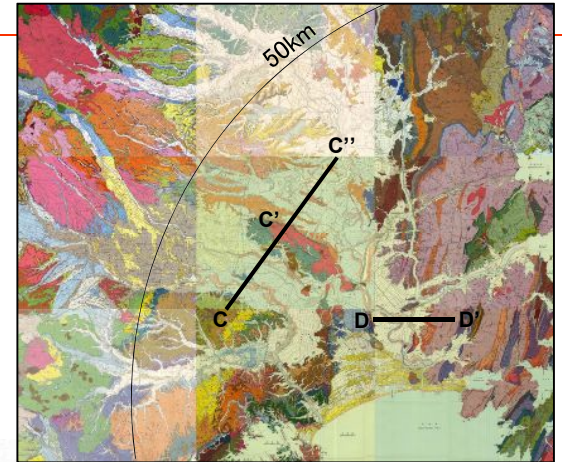
- 5万分の1地質図(土谷ほか(1997), 北村ほか(1981))によれば, 敷地を中心とする半径50km以遠に鳴子カルデラから噴出した火砕流が分布している。



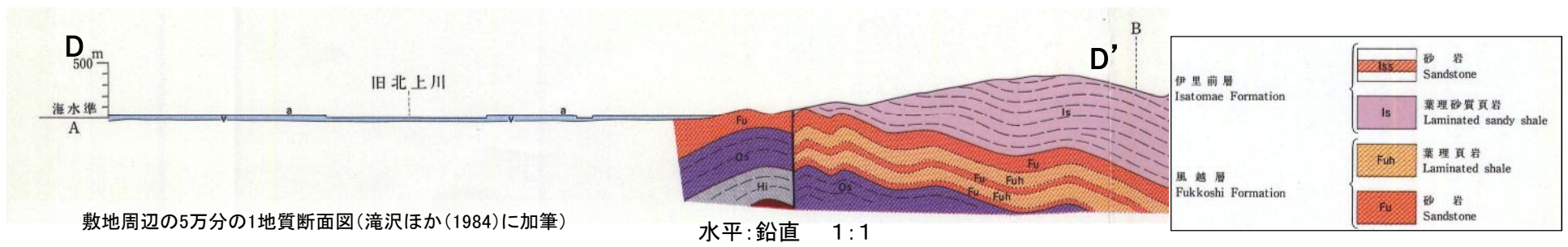
2. 抽出された火山の火山活動に関する個別評価

【鳴子カルデラの火砕物密度流に関する評価: 文献調査結果①-③】

- 5万分の1地質図(高橋・松野(1969), 滝沢ほか(1984))によれば, 敷地から40km付近(C-C'-C''断面)及び20km付近(D-D'断面)では鳴子カルデラから噴出した火砕流は記載されていない。



敷地周辺の5万分の1地質断面図(高橋・松野(1969)に加筆)



敷地周辺の5万分の1地質断面図(滝沢ほか(1984)に加筆)

水平:鉛直 1:1

2. 抽出された火山の火山活動に関する個別評価

【鳴子カルデラの火砕物密度流に関する評価: 文献調査結果②】

- ▶ 町田・新井(2003)によれば、鳴子カルデラを給源とする火砕流の分布範囲は下図のとおりであり、敷地を中心とする半径30kmに及んでいない。

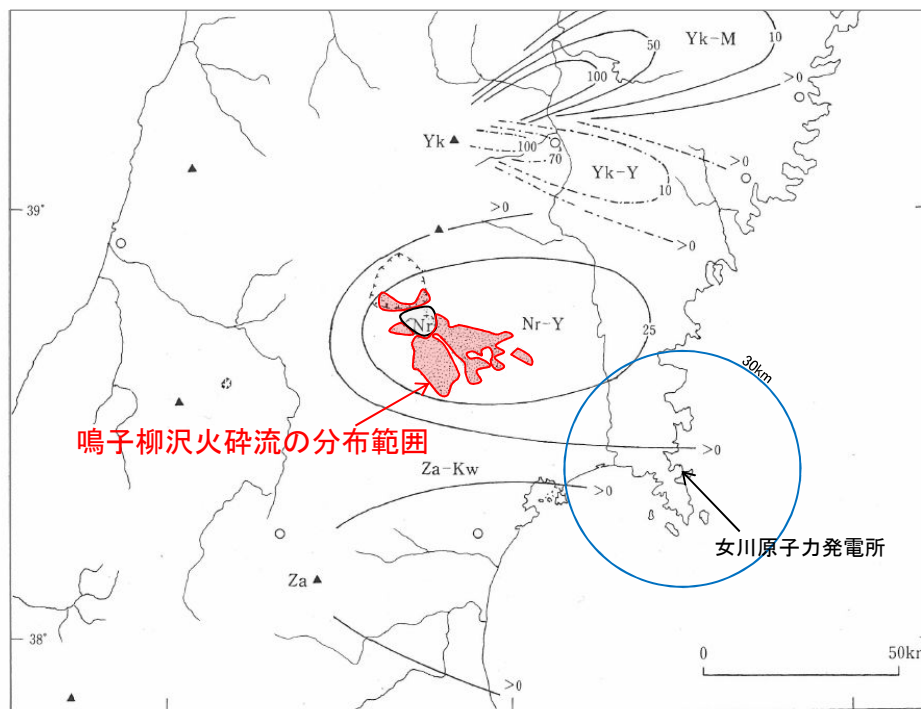


図 3.4-3 東北地方の後期更新世主要テフラの等層厚線図 (その 1).

Ak-Y 秋田駒柳沢^{1,7)} Ak-K 秋田駒小岩井¹⁾ Za-Kw 蔵王川崎²⁾ Yk-Y 焼石山形³⁾
 Yk-M 焼石村崎野³⁾ Nr-Y 鳴子柳沢⁴⁾ (pflの分布も示す) To-G 十和田合同^{5,6)} To-Rd 十和田レッド^{5,6)}
 To: 十和田, Iw: 岩手, Ak: 秋田駒, Yk: 焼石, Nr: 鳴子, Za: 蔵王.
 [1] 大上・土井 (1978), 2) Arai et al. (1986), 3) 大上・吉田 (1984), 4) 早田 (1989b), 5) 大池・中川 (1979), 6) 松山・大池 (1986), 7) 土井 (1990)]

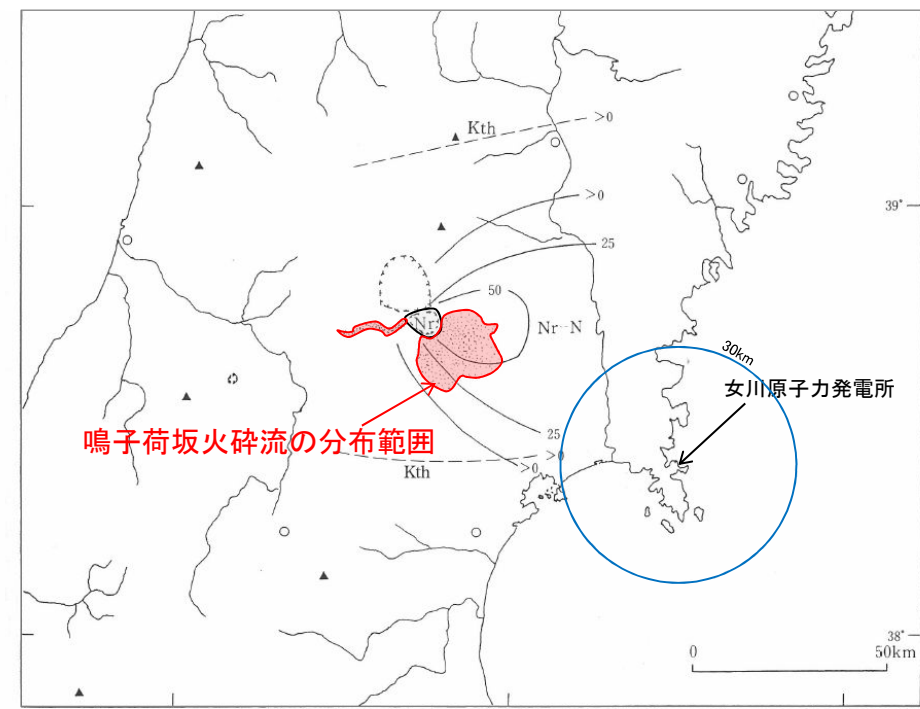


図 3.4-4 東北地方の後期更新世主要テフラの等層厚線図 (その 2).

To-SP 十和田 SP^{1,2)} To-Ok₂ 十和田オコシ^{2,2)} To-QP 十和田 QP^{1,2)} Kw 十和田川口^{3,5)}
 Iw-Od 西岩手生出⁶⁾ Iw-Y 西岩手雪浦⁶⁾ Nr-N 鳴子荷坂 (pflの分布も示す)⁴⁾ Kth 北原⁴⁾
 To: 十和田, Iw: 岩手, Nr: 鳴子.
 [1] 大池・中川 (1979), 2) 松山・大池 (1986), 3) 大上・土井 (1978), 4) 早田 (1989b), 5) 土井 (1990), 6) 土井 (1991)]

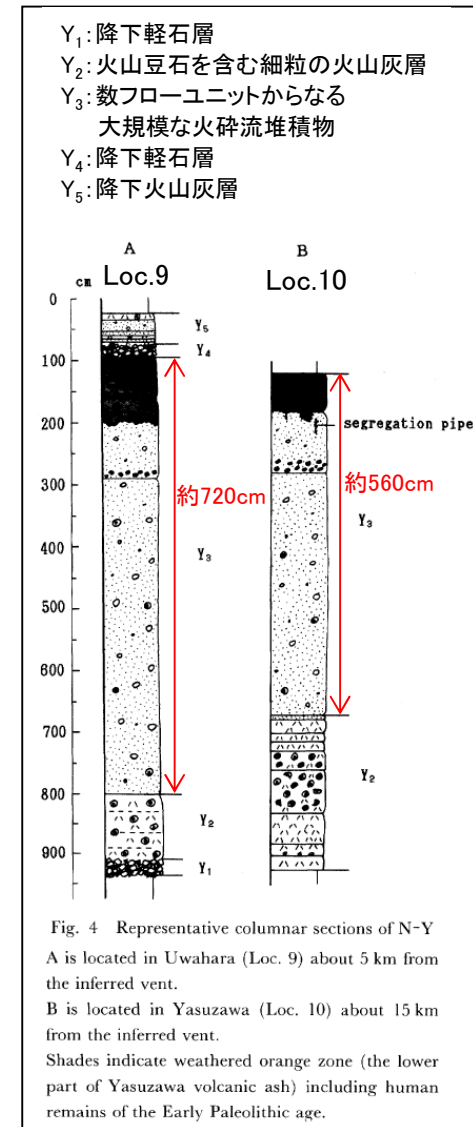
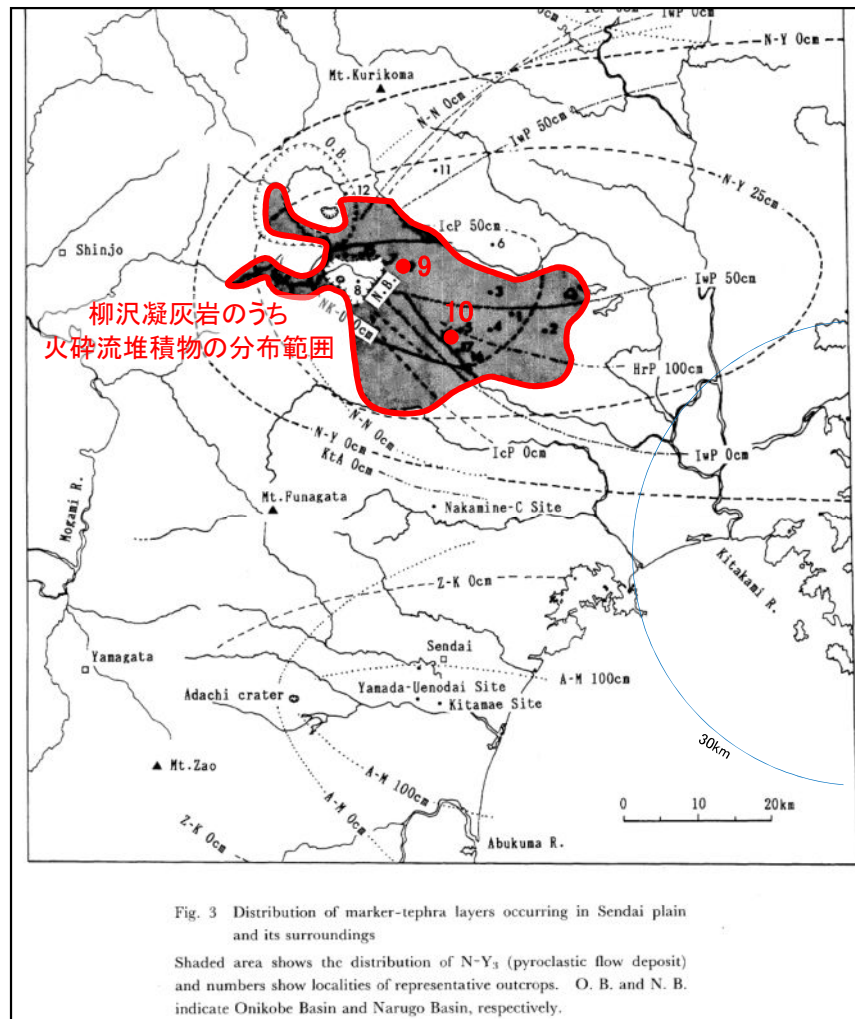
東北地方の後期更新世主要テフラの等層厚線図(町田・新井(2003)に一部加筆)

2. 抽出された火山の火山活動に関する個別評価

【鳴子カルデラの火砕物密度流に関する評価: 文献調査結果③】

早田(1989)によれば、鳴子柳沢火砕流の層厚が以下のとおり示されている。

- loc.9(火口から約5km離れた地点): 約720cm
- Loc.10(火口から約15km離れた地点): 約560cm

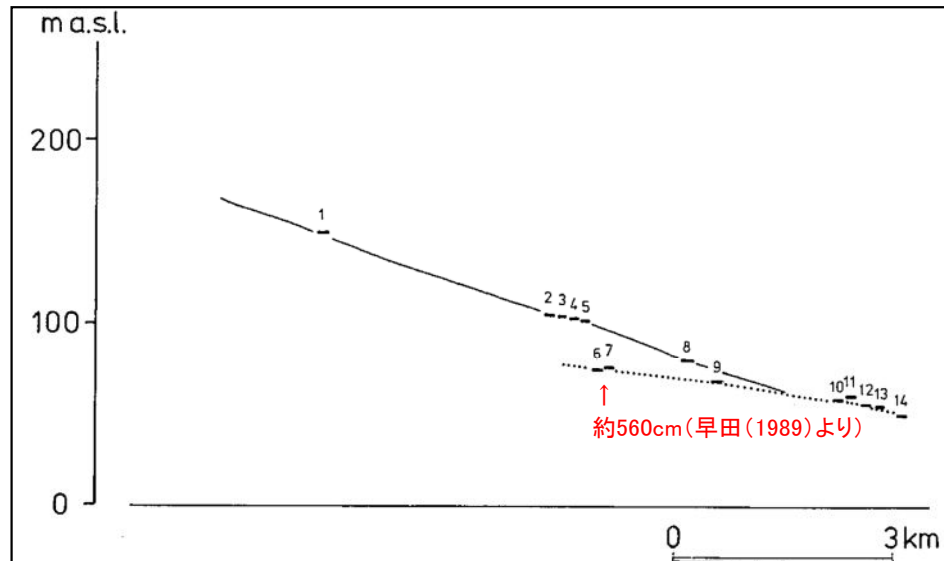
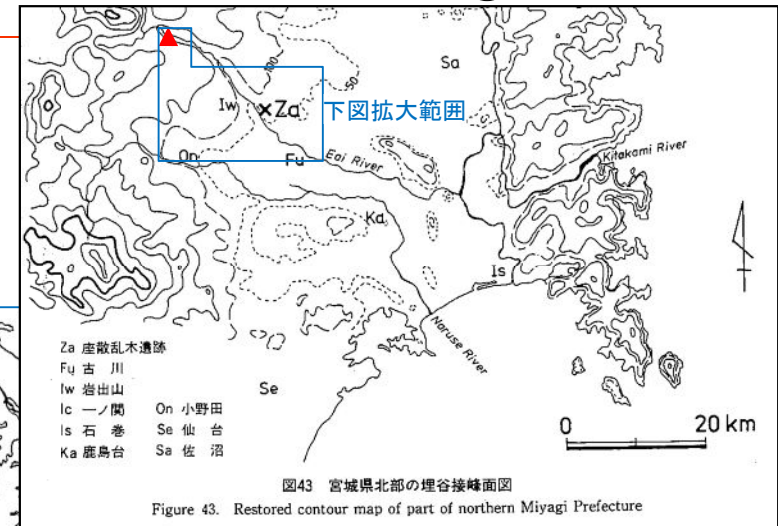


2. 抽出された火山の火山活動に関する個別評価

【鳴子カルデラの火砕物密度流に関する評価: 文献調査結果④】

豊島・石田(1983)では、荷坂凝灰岩や柳沢凝灰岩が観察された地点の高度を、清滝丘陵の最大傾斜方向である北西-南東方向に投影した図を示し、以下の内容が記載されている。

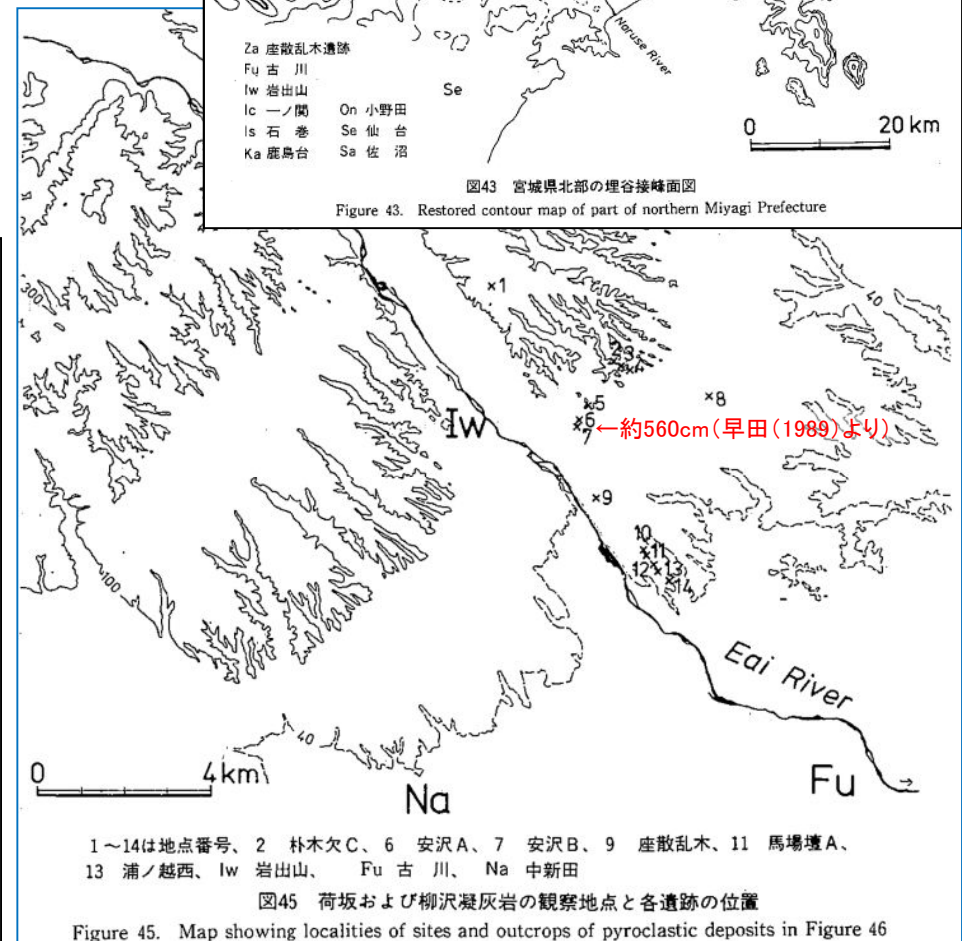
- 荷坂凝灰岩の堆積面が保存されているのは、1~5及び8の地点であり、それらの地点の高度を連ねた線は、傾きをもった滑らかな直線状を呈する。
- この線は荷坂凝灰岩の堆積終了直後の地表面を示しているとみてよい。



1~14は地点番号(図45と対応する)
実線は復元された荷坂凝灰岩の堆積面、点線は柳沢凝灰岩の現在の高度を連ねたもの

図46 荷坂および柳沢凝灰岩の観察地点高度の投影図

Figure 46. Projected profiles of the surfaces underlain by the Nizaka tuff and Yanagizawa tuff



1~14は地点番号、2 朴木欠C、6 安沢A、7 安沢B、9 座散乱木、11 馬場壇A、13 浦ノ越西、Iw 岩出山、Fu 古川、Na 中新田

図45 荷坂および柳沢凝灰岩の観察地点と各遺跡の位置

Figure 45. Map showing localities of sites and outcrops of pyroclastic deposits in Figure 46

荷坂及び柳沢凝灰岩の観測地点と観測地点高度の投影図(豊島・石田(1983)に一部加筆)

2. 抽出された火山の火山活動に関する個別評価

【鳴子カルデラの火砕物密度流に関する評価: 文献調査結果⑤】

- ▶ 豊島・石田(1983)によれば, 窪川原で荷坂凝灰岩の層厚が約6m, 大吉山で柳沢凝灰岩の層厚が約2.9mである。

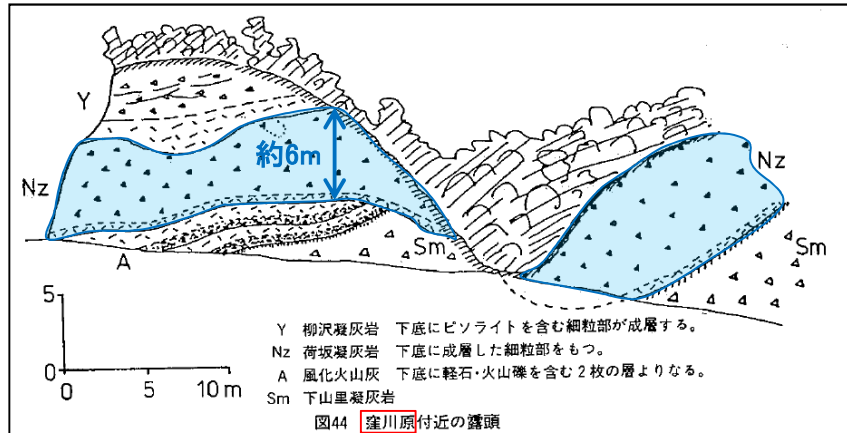


Figure 44. Outcrop of pyroclastic deposits (the Yanagizawa tuff, the Nizaka tuff, and the Shimoyamazato tuff) at Kubokawara, to the west of Iwadeyama-cho

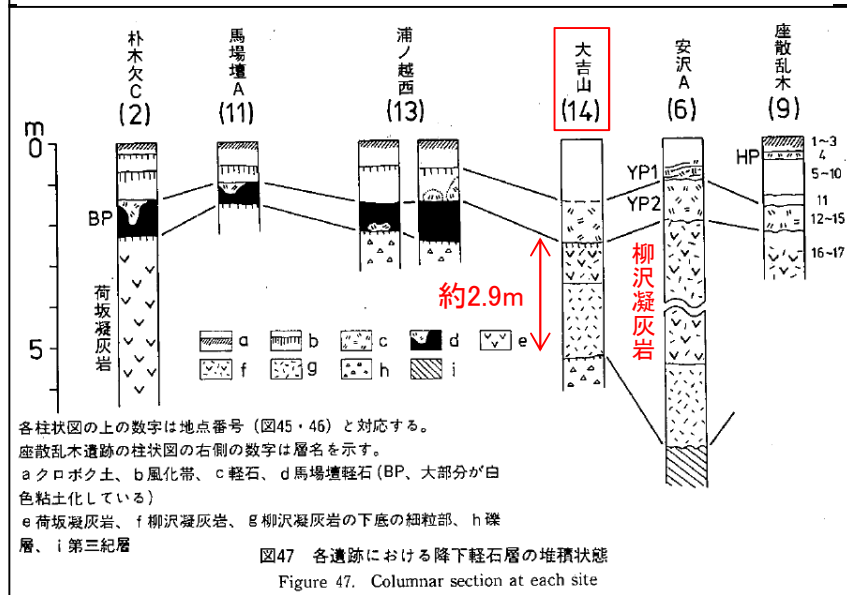


Figure 47. Columnar section at each site

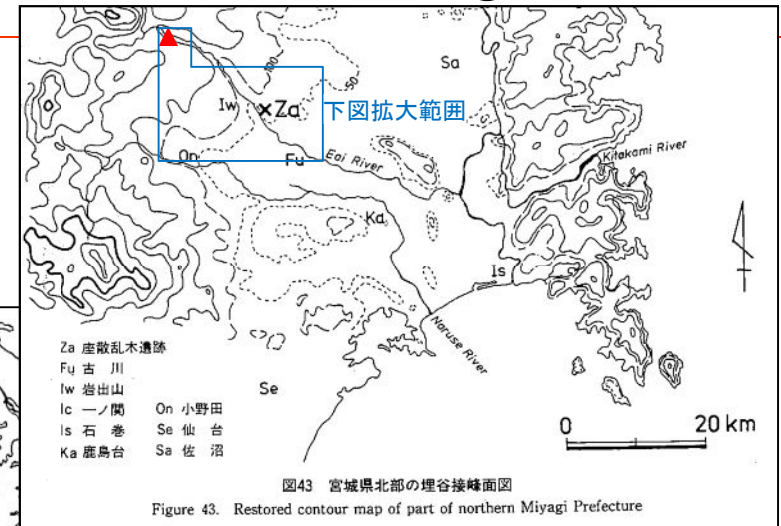


Figure 43. Restored contour map of part of northern Miyagi Prefecture

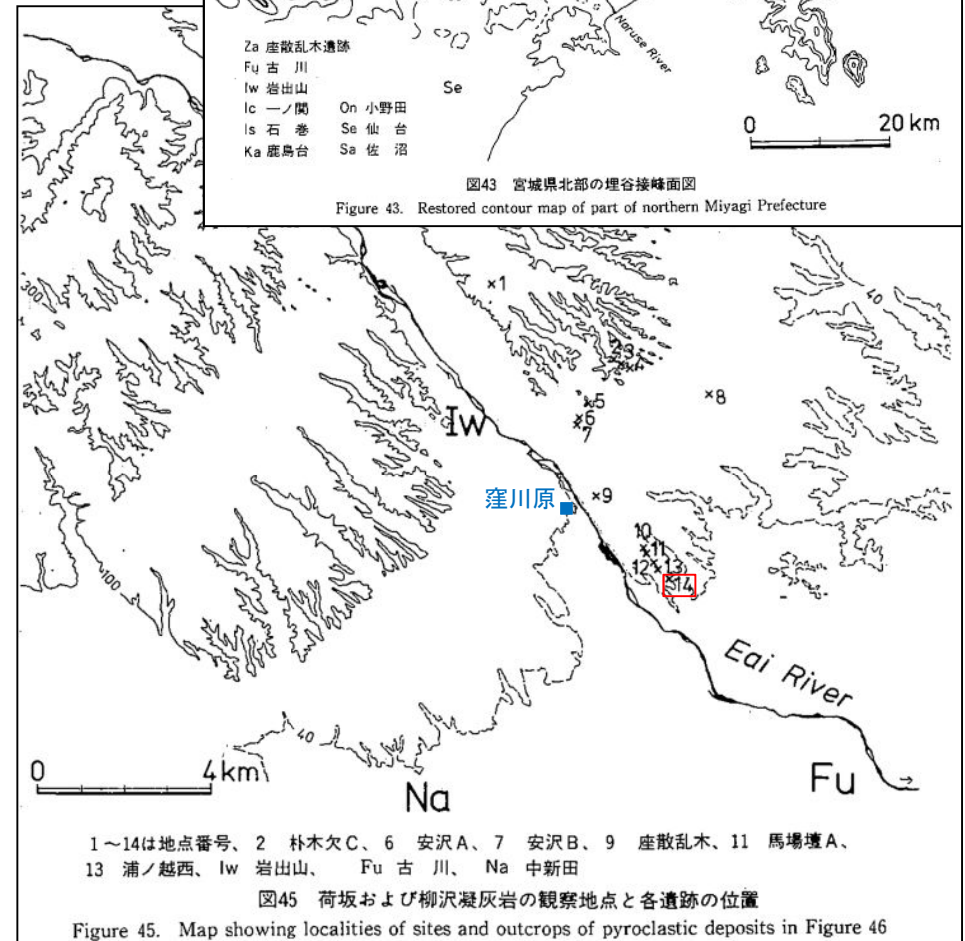
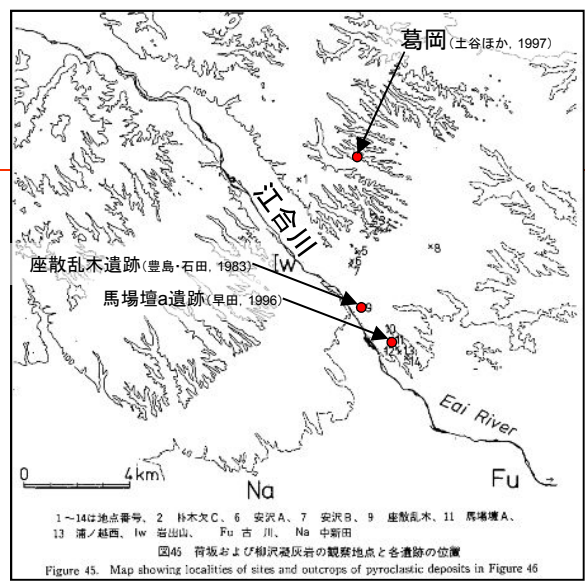


Figure 45. Map showing localities of sites and outcrops of pyroclastic deposits in Figure 46

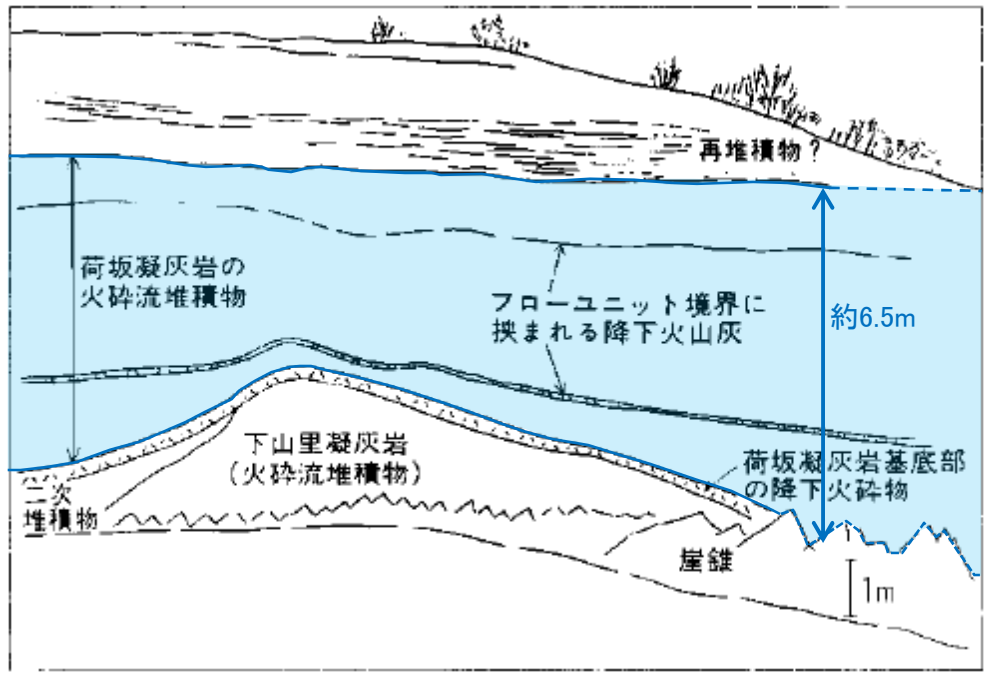
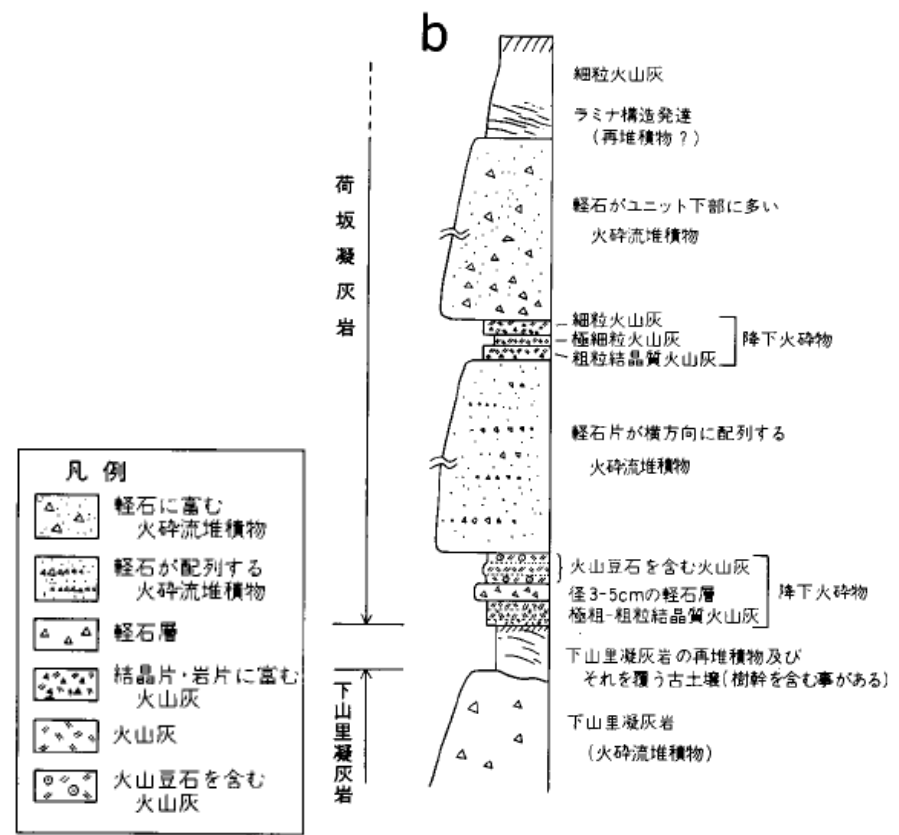
荷坂及び柳沢凝灰岩の観測地点と観測地点高度の投影図(豊島・石田(1983)に一部加筆)

2. 抽出された火山の火山活動に関する個別評価 【鳴子カルデラの火砕物密度流に関する評価:文献調査結果①-1】

➤ 土谷ほか(1997)によれば, 旧岩出山町葛岡北部で荷坂凝灰岩の層厚が約6.5mである。



露頭位置図 (豊島・石田(1983)に加筆)



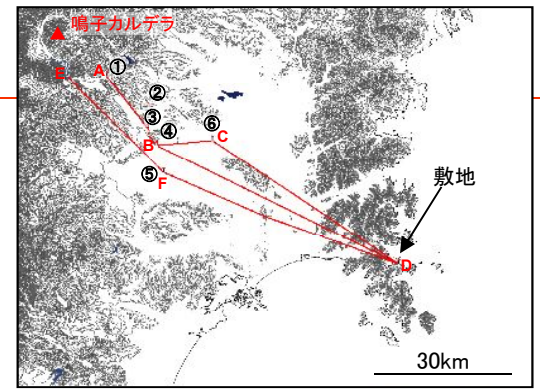
第35図 荷坂凝灰岩の露頭写真 (岩出山町葛岡北部の採土場)
a: 下山里凝灰岩(St)を覆う荷坂凝灰岩, 崖の高さは約15m. b: 柱状図

(土谷ほか(1997)に一部加筆)

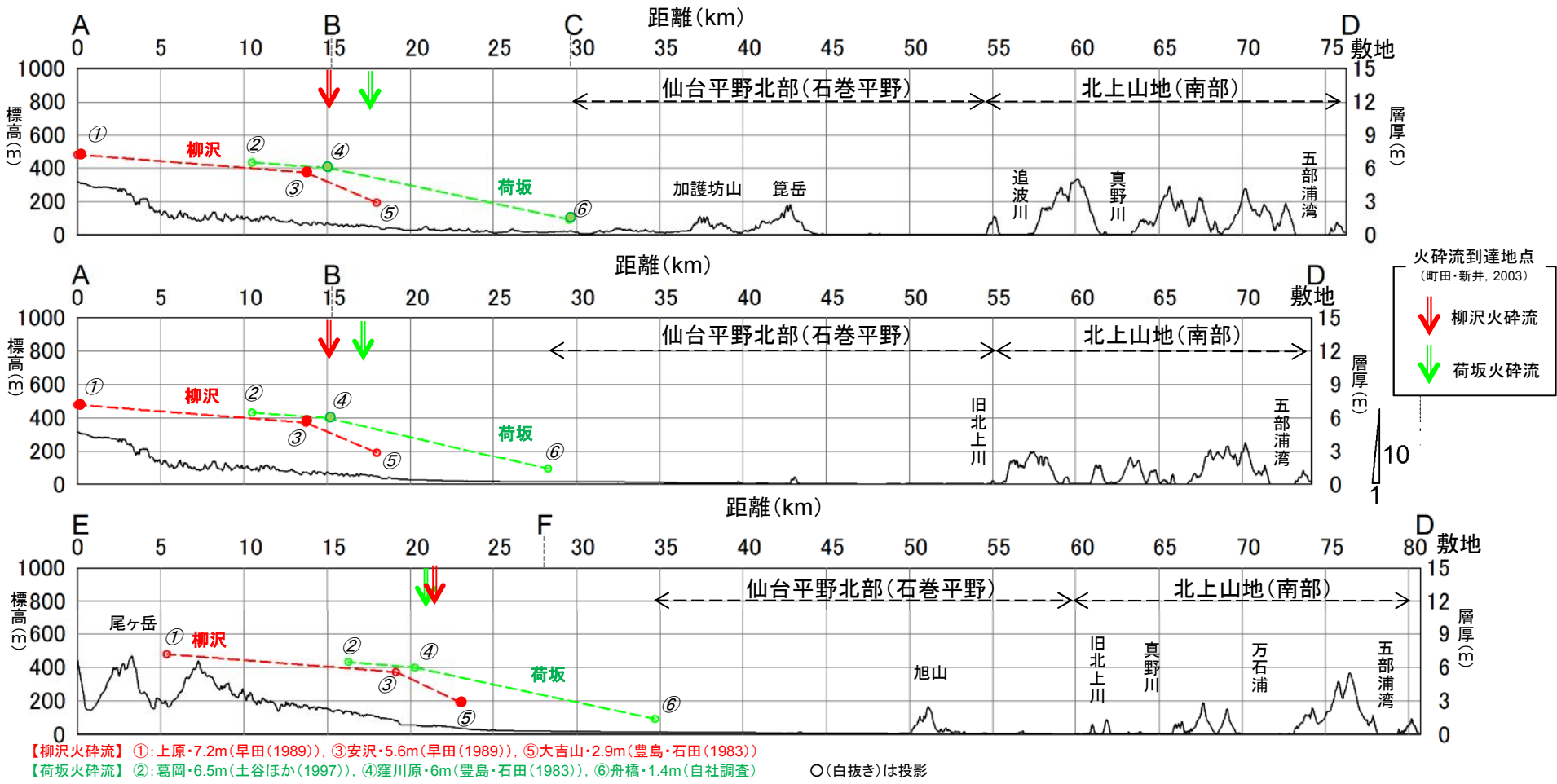
2. 抽出された火山の火山活動に関する個別評価

【鳴子カルデラの火砕物密度流に関する評価:まとめ】

鳴子カルデラから敷地までの地形断面は下図のとおりである。
 この断面に、加護坊山北西部で確認された荷坂凝灰岩の標高とその層厚、早田(1989)に示されている柳沢凝灰岩の層厚、豊島・石田(1983)に示されている荷坂及び柳沢凝灰岩の露頭層厚を投影した。



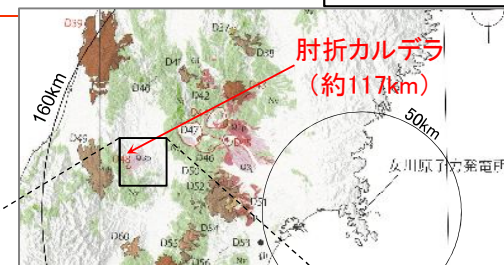
この図から、鳴子カルデラを給源とする荷坂火砕流(既往最大)及び柳沢火砕流は石巻平野までは到達していた可能性は否定できないものの、敷地には到達したとは考えにくい。
したがって、鳴子カルデラの火砕物密度流が敷地に影響を及ぼす可能性はない。



2. 抽出された火山の火山活動に関する個別評価 【肘折カルデラの活動履歴及び火砕物密度流に関する評価】

肘折カルデラの概要

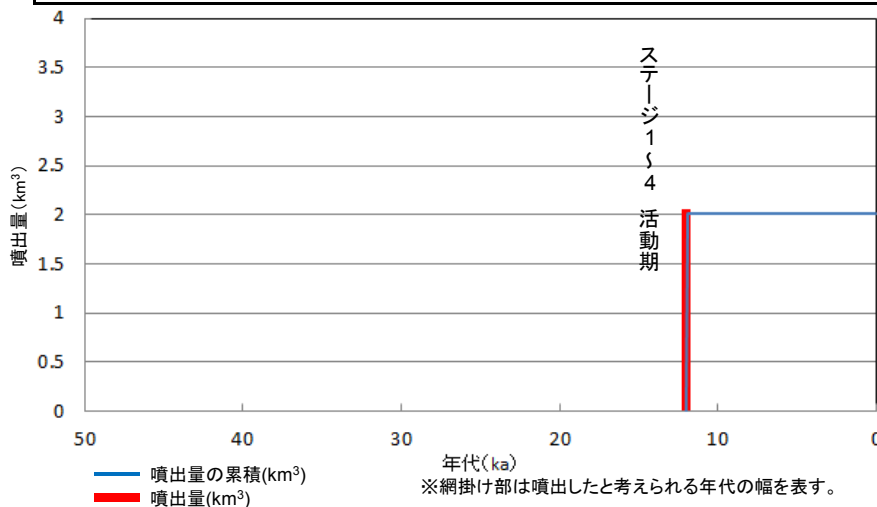
火山名	肘折カルデラ
敷地からの距離	約117km
形式/タイプ	カルデラ/火砕物密度流卓越タイプ
活動年代	約1万2000年前
概要	肘折カルデラは、山形県尾花沢市の西約20km、月山の北東約15kmに位置する。構成する地形は、内径約2km、外径約3kmのカルデラであり、火砕物台地がその南方数kmと北方約8kmにかけて分布している。噴気活動はないが、地熱活動が継続している。デイサイトからなる。
噴出物	<ul style="list-style-type: none"> ➢ 肘折カルデラは約12,000年前に活動し、噴出量は約2.02km³、短時間で活動のピークを迎えた。 ➢ 12,000年前以降の噴出物は確認されていない。 ➢ 火砕物密度流は、5層記載されており、分布範囲は山体周辺(南方および北方方向)に限られる。



敷地を中心とする半径160kmの範囲の火山地質図
(中野ほか編(2013)による)

肘折カルデラの火砕物密度流の評価

火砕物密度流は肘折カルデラ周辺に限られることから、発電所に影響を及ぼす可能性はない。



肘折カルデラの噴出量-年代階段ダイヤグラム

概要の表及び噴出量-年代階段ダイヤグラムは、宮城(2007)等の文献調査の結果を基に東北電力が独自に作成したものである。

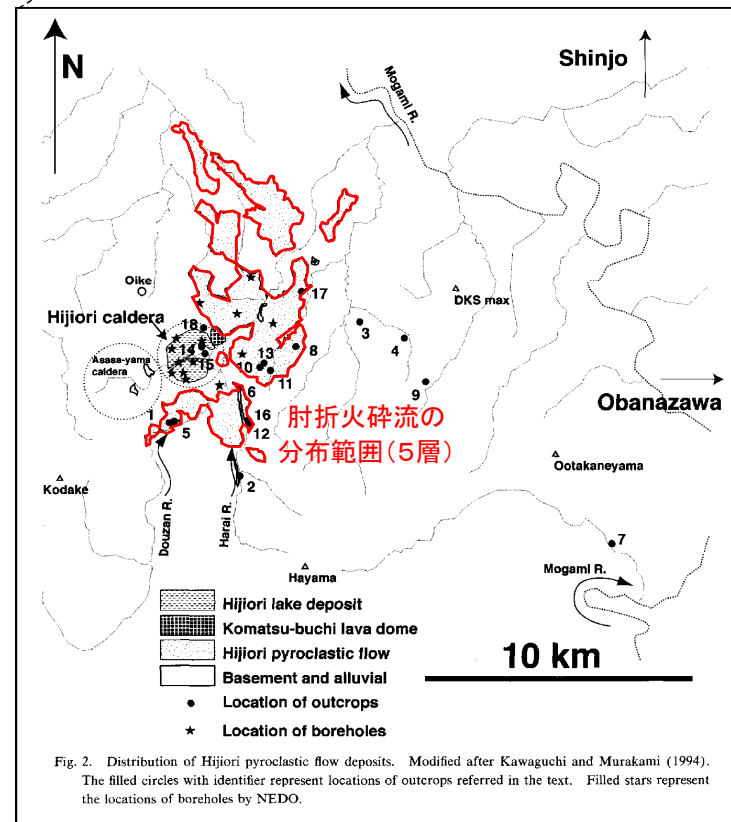


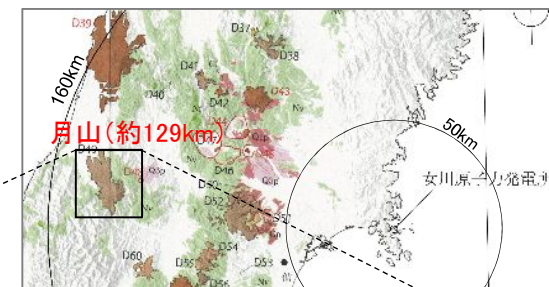
Fig. 2. Distribution of Hijiori pyroclastic flow deposits. Modified after Kawaguchi and Murakami (1994). The filled circles with identifier represent locations of outcrops referred in the text. Filled stars represent the locations of boreholes by NEDO.

肘折火砕流堆積物の分布図(宮城(2007)に一部加筆)

2. 抽出された火山の火山活動に関する個別評価 【月山の活動履歴及び火砕物密度流に関する評価】

月山の概要

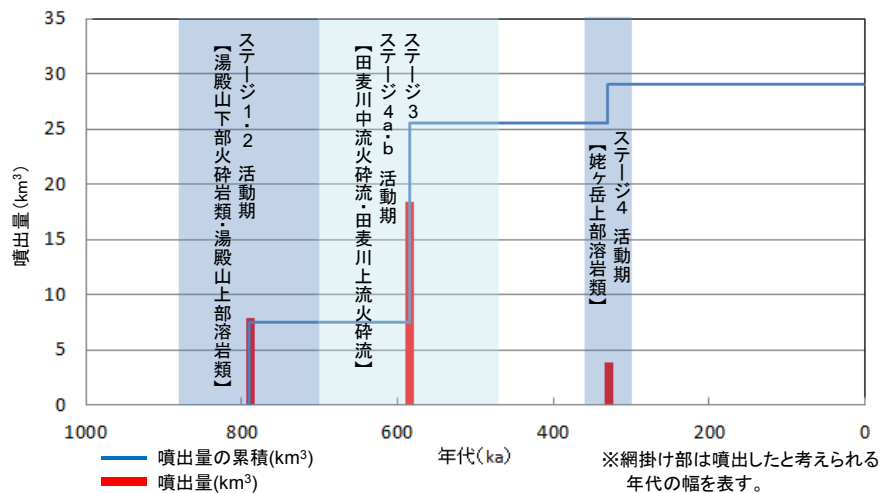
火山名	月山
敷地からの距離	約129km
形式/タイプ	複成火山/溶岩卓越タイプ
活動年代	約88万年～30万年前
概要	月山(標高:1,984m)は、山形県のほぼ中央部に位置し、基盤の地形の影響と北西に開く馬蹄形カルデラのために東西非対称な山体を形成している。姥ヶ岳・湯殿山等からなる複成層火山である。安山岩～デイサイトからなる。
噴出物	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 最大噴出量は約18km³、ステージ3～4b間(47～70万年前)に噴出。 ▶ 最新の噴火活動は、姥ヶ岳溶岩類の活動期(30～36万年前)に発生。 ▶ 火砕物密度流は、6層確認されており、分布範囲は山体周辺(北西～南西部)に限られる。



敷地を中心とする半径160kmの範囲の火山地質図
(中野ほか編(2013)による)

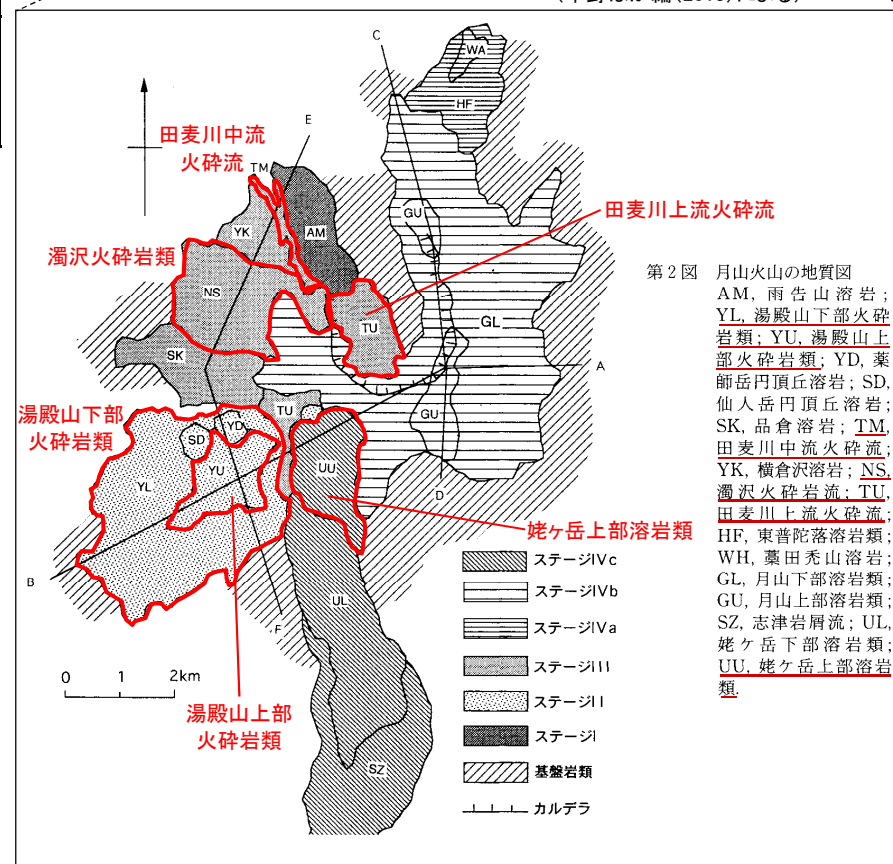
月山の火砕物密度流の評価

火砕物密度流は月山周辺に限られることから、発電所に影響を及ぼす可能性はない。



月山の噴出量-年代階段ダイアグラム

概要の表及び噴出量-年代階段ダイアグラムは、中里ほか(1996)等の文献調査の結果を基に東北電力が独自に作成したものである。



第2図 月山火山の地質図

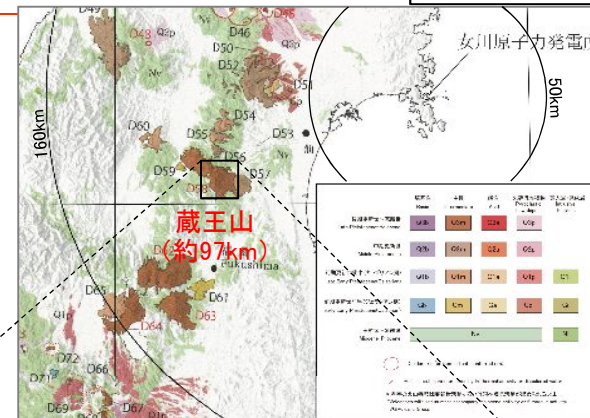
AM, 雨告山溶岩;
YL, 湯殿山下部火砕岩類;
YU, 湯殿山上部火砕岩類;
YD, 薬師岳門頂丘溶岩;
SD, 仙人岳門頂丘溶岩;
SK, 品倉溶岩;
TM, 田麦川中流火砕流;
NS, 横倉沢溶岩;
YK, 横倉沢溶岩;
NS, 濁沢火砕岩流;
TU, 田麦川上流火砕流;
HF, 東普陀落溶岩類;
WH, 薬田禿山溶岩;
GL, 月山下部溶岩類;
GU, 月山上部溶岩類;
SZ, 志津岩屑流;
UL, 姥ヶ岳下部溶岩類;
UU, 姥ヶ岳上部溶岩類

月山火山の地質図(中里ほか(1996)に一部加筆)

2. 抽出された火山の火山活動に関する個別評価 【蔵王山の活動履歴及び火砕物密度流に関する評価】

蔵王山の火砕物密度流に関する評価

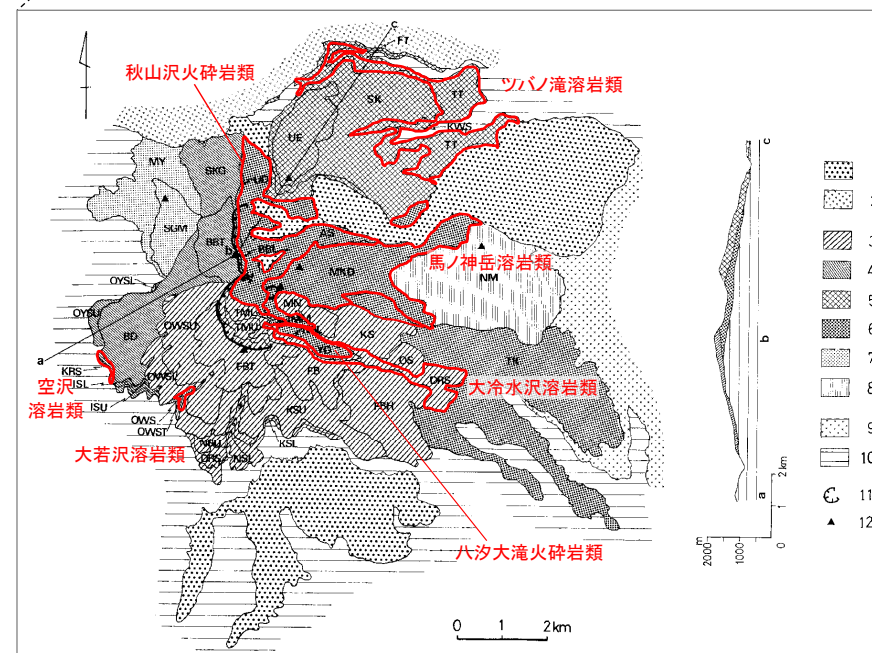
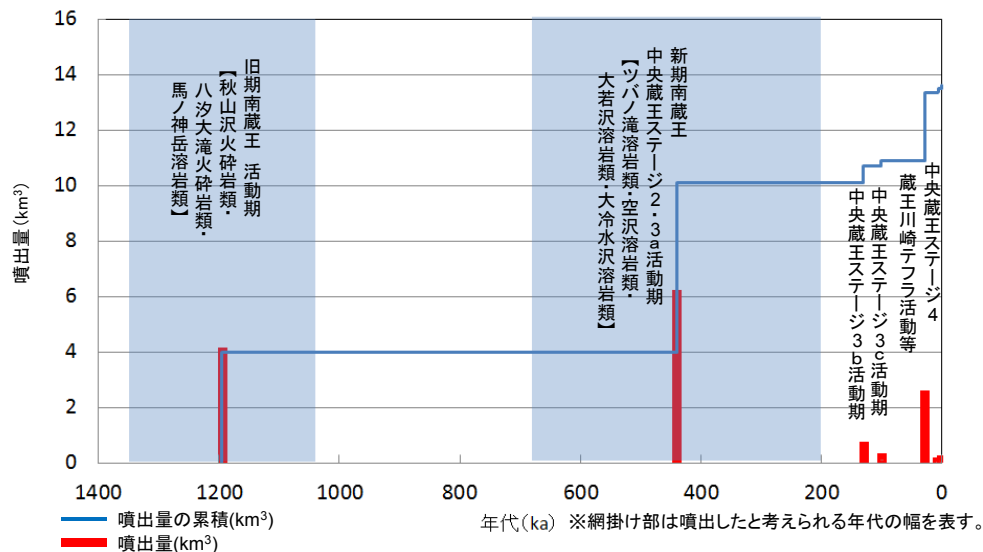
火山名	蔵王山
敷地からの距離	約97km
形式/タイプ	複成火山, 火口丘/溶岩・火砕岩タイプ
活動年代	約135万年前～AD1940年
概要	蔵王山(熊野岳: 標高1840m)は、山形県と宮城県の間境に位置する火山群の総称である。北蔵王(瀧山), 中央蔵王(熊野岳等), 南蔵王(不忘山等)等に分けられる。玄武岩～安山岩の成層火山で、有史以降も主に御釜を噴出口とする活動が確認されている。
噴出物	<ul style="list-style-type: none"> ➢ 最大噴出量は約6.1km³, 南蔵王および中央蔵王ステージ2・3a期(20～68万年前)に噴出。 ➢ 最新の噴火活動は、少量の降下火砕物を伴った水蒸気噴火で1940年に発生。 ➢ 火砕物密度流は、7層確認されており、分布範囲は南蔵王周辺に限られている。中央蔵王・北蔵王については確認されていない。



敷地を中心とする半径160kmの範囲の火山地質図
(中野ほか編(2013)による)

蔵王山の火砕物密度流の評価

火砕物密度流は蔵王山周辺に限られることから、発電所に影響を及ぼす可能性はない。



南蔵王地質図(酒寄(1985)に一部加筆)

概要の表及び噴出量一年代階段ダイアグラムは、酒寄(1985)及び酒寄(1992)等の文献調査の結果を基に東北電力が独自に作成したものである。

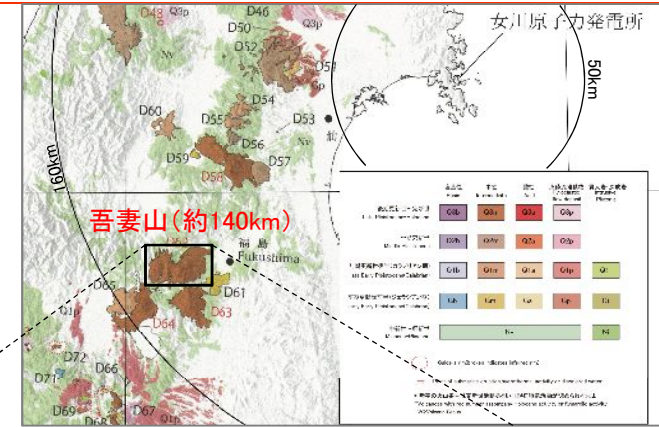
2. 抽出された火山の火山活動に関する個別評価

【吾妻山の活動履歴及び火砕物密度流に関する評価】

第189回審査会合
資料2-1加筆修正

吾妻山の概要

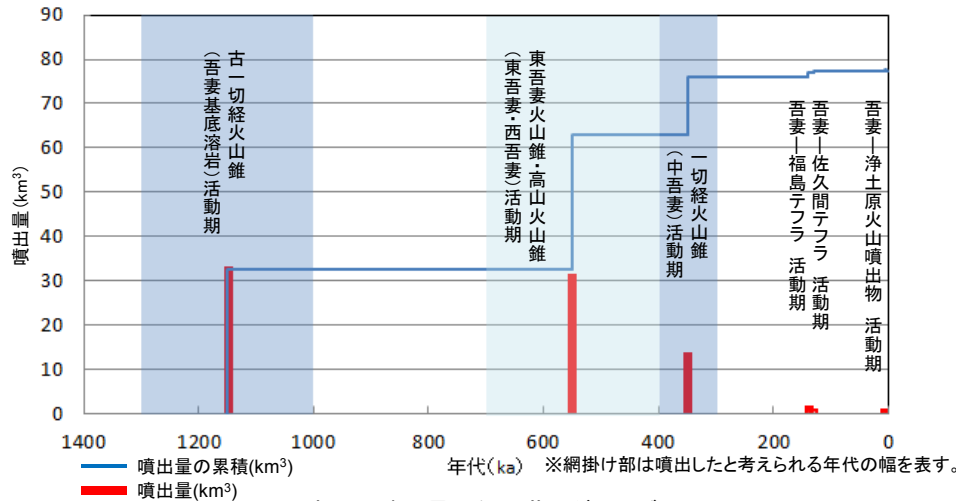
火山名	吾妻山
敷地からの距離	約140km
形式・タイプ	複成火山、火砕丘／火砕岩卓越タイプ
活動年代	約130万年前～AD1977
概要	吾妻山は、山形県と福島県の県境にある多数の成層火山からなる火山群である。噴出物は玄武岩～安山岩で、西吾妻火山、中吾妻火山、東吾妻火山に分けられ、噴出中心は東南東～西北西に走る南北の2列に大別される。有史以降の噴火は、大穴火口とその周辺の爆発で、現在その南～東斜面には噴気地域が広く分布する。
噴出物	<ul style="list-style-type: none"> ➢ 最大噴出量は約32.5km³、基底溶岩活動期(100～130万年前)に噴出。 ➢ 最新の噴火活動は、火砕物の降下・泥水を伴う水蒸気噴火で1977年に発生。 ➢ 火砕物密度流は報告されていないが、吾妻山周辺に噴出物が確認されている。



敷地を中心とする半径160kmの範囲の火山地質図
(中野ほか編(2013)による)

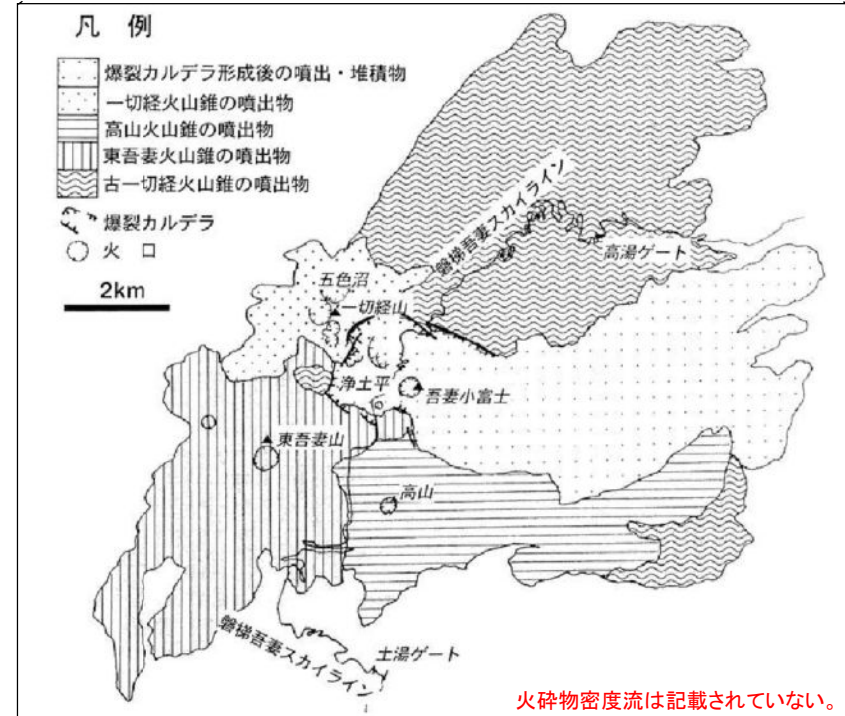
吾妻山の火砕物密度流の評価

仮に噴出物が火砕物密度流と考えると、噴出物は吾妻山周辺に限られていることから、発電所に影響を及ぼす可能性はない。



吾妻山の噴出量一年代階段ダイヤグラム

概要の表及び噴出量一年代階段ダイヤグラムは、藤縄・鴨志田(1999)等の文献調査の結果を基に東北電力が独自に作成したものである。



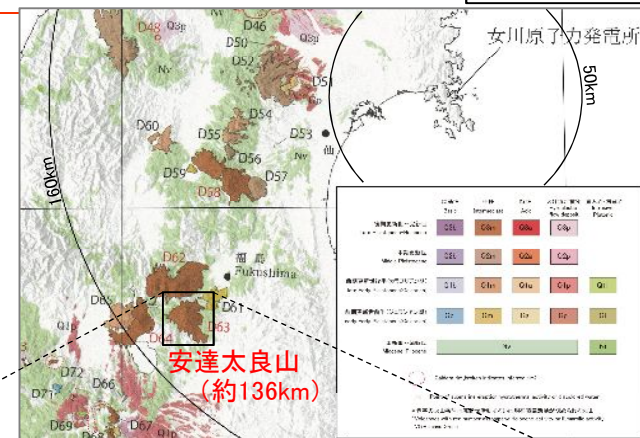
火砕物密度流は記載されていない。

吾妻山地質図(藤縄・鴨志田(1999)に一部加筆)

2. 抽出された火山の火山活動に関する個別評価 【安達太良山の活動履歴及び火砕物密度流に関する評価】

安達太良山の概要

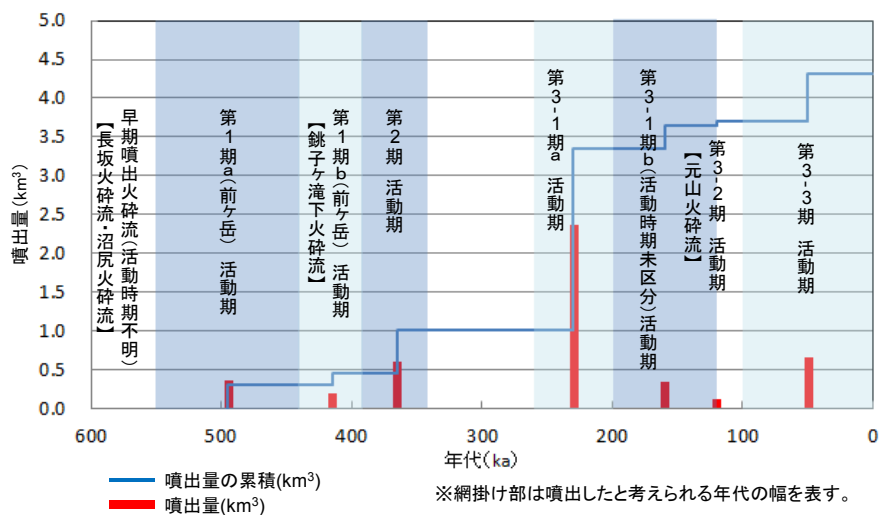
火山名	安達太良山
敷地からの距離	約136km
形式・タイプ	複成火山／溶岩卓越タイプ
活動年代	約55万年前～AD1900
概要	安達太良山は、福島市の南西に位置する玄武岩～安山岩の成層火山群である。主峰の安達太良本峰の山頂部には西に開く沼ノ平火口がある。この火口の内外には、噴気・温泉地帯が存在する。
噴出物	<ul style="list-style-type: none"> ➢ 最大噴出量は約2.33km³、第3-1a期(20～26万年前)に噴出。 ➢ 最新の噴火活動は、低温サーズや降下火砕物を伴った中規模水蒸気噴火で1900年に発生。 ➢ 火砕物密度流は、4層確認されており、分布範囲は山体周辺に限られる。



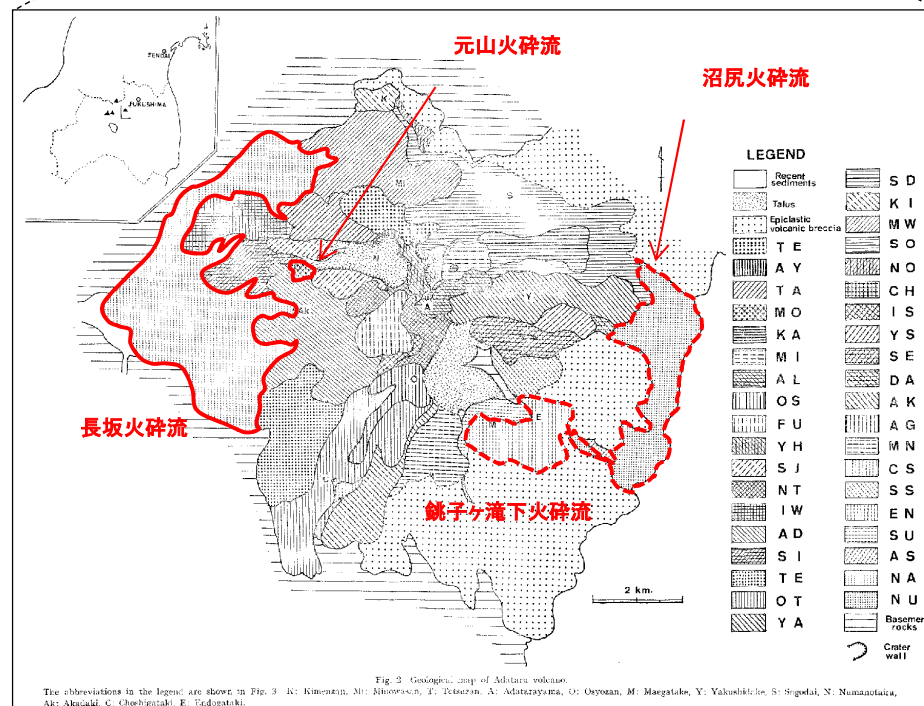
敷地を中心とする半径160kmの範囲の火山地質図
(中野ほか編(2013)による)

安達太良山の火砕物密度流の評価

火砕物密度流は安達太良山周辺に限られることから、発電所に影響を及ぼす可能性はない。



安達太良山の噴出量-年代階段ダイアグラム



安達太良火山地質図(藤縄(1980)に一部加筆)

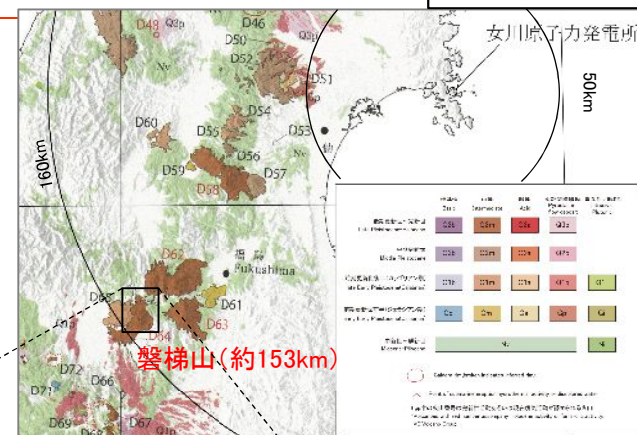
概要の表及び噴出量-年代階段ダイアグラムは、藤縄(1980)及び藤縄・鎌田(2005)等の文献調査の結果を基に東北電力が独自に作成したものである。

2. 抽出された火山の火山活動に関する個別評価 【磐梯山の活動履歴及び火砕物密度流に関する評価】

第189回審査会合資料2-1加筆修正

磐梯山の概要

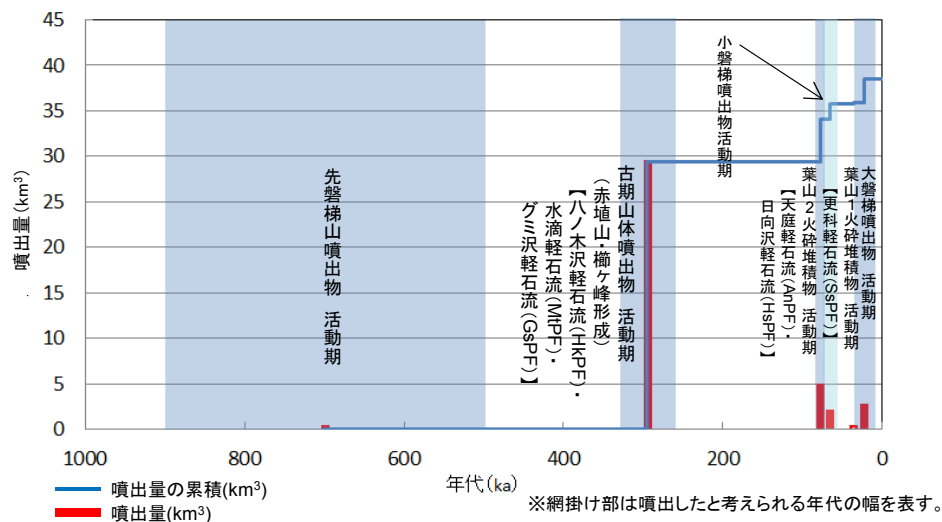
火山名	磐梯山
敷地からの距離	約153km
形式・タイプ	複成火山／溶岩・火砕岩タイプ
活動年代	約90万年前～AD1888
概要	磐梯山は、福島県猪苗代湖の北に位置する安山岩質の成層火山である。赤埴山、大磐梯、櫛ヶ峰などが沼ノ平火口を取り囲んで、円錐形火山体が形成されているが、過去に山体崩壊が何度か繰り返され、現在の山容となった。1888年噴火で形成されたカルデラ壁や山頂沼ノ平火口には微弱な噴気孔が点在する。
噴出物	<ul style="list-style-type: none"> ➢最大噴出量は29.25km³、古期活動期(23～30万年前)に噴出。 ➢最新の噴火活動は、山体崩壊を伴った中規模水蒸気噴火で1888年に発生。 ➢火砕物密度流は、6層確認されており、分布範囲は山体周辺に限られる。



敷地を中心とする半径160kmの範囲の火山地質図
(中野ほか編(2013)による)

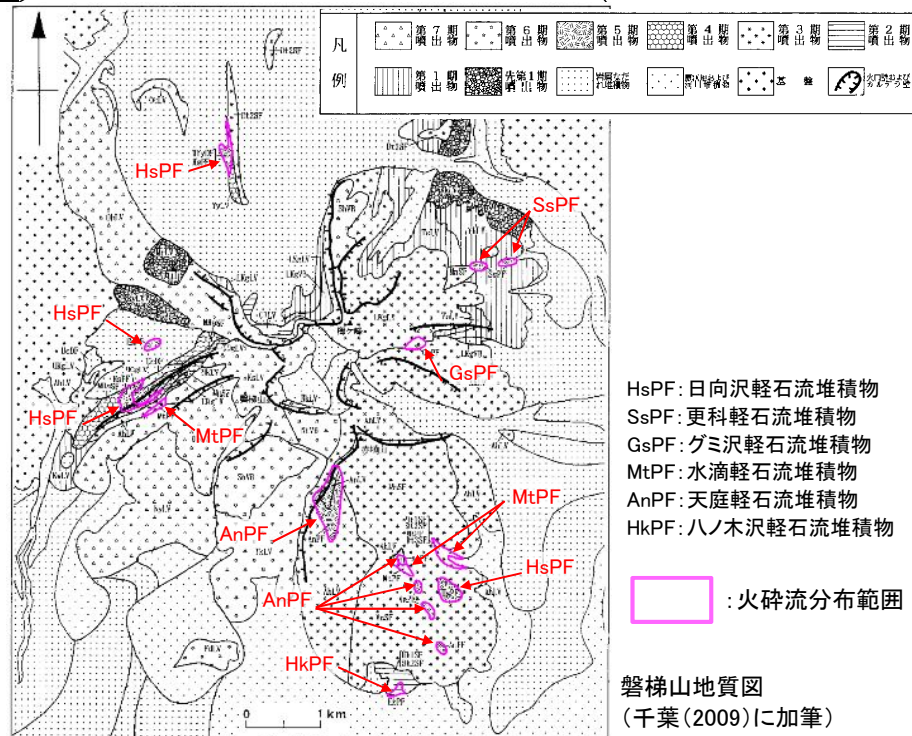
磐梯山の火砕物密度流の評価

火砕物密度流は磐梯山周辺に限られることから、発電所に影響を及ぼす可能性はない。



磐梯山の噴出量一年代階段ダイヤグラム

概要の表及び噴出量一年代階段ダイヤグラムは、山元(2012)及び千葉(2009)等の文献調査の結果を基に東北電力が独自に作成したものである。



2. 抽出された火山の火山活動に関する個別評価【まとめ】

火山名	敷地からの距離(km)	火砕物密度流		溶岩流	岩屑なだれ他	新しい火口の開口	地殻変動
		160km		50km	50km		
焼石岳	102	○	噴出物は、溶岩や火砕岩、降下軽石が主であり、火砕物密度流の発生は認められない。	○ 敷地と火山の距離から、発電所に影響を及ぼす可能性はない。	○ 敷地と火山の距離から、発電所に影響を及ぼす可能性はない。	○ 敷地は、第四紀を通じて火山フロントより前弧側(東方)に50km以上離れた北上山地南端部の牡鹿半島にあり、敷地周辺では火成活動は確認されていないことから、この事象が発電所の運用期間中に影響を及ぼす可能性は十分小さい。	○ 敷地は、第四紀を通じて火山フロントより前弧側(東方)に50km以上離れた北上山地南端部の牡鹿半島にあり、敷地周辺では火成活動は確認されていないことから、この事象が発電所の運用期間中に影響を及ぼす可能性は十分小さい。
鳥海山	148	○	火砕物密度流は鳥海山周辺に限られる。				
栗駒山	87	○	火砕物密度流は栗駒山周辺に限られる。				
鳴子カルデラ	76	○	火砕物密度流の到達範囲は、敷地から十分離れている。				
肘折カルデラ	117	○	火砕物密度流は肘折カルデラ周辺に限られる。				
月山	129	○	火砕物密度流は月山周辺に限られる。				
蔵王山	97	○	火砕物密度流は蔵王山周辺に限られる。				
吾妻山	140	○	火砕物密度流の発生は認められない。				
安達太良山	136	○	火砕物密度流は安達太良山周辺に限られる。				
磐梯山	153	○	火砕物密度流は磐梯山周辺に限られる。				

○: 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。



- 設計対応不可能な火山事象(火砕物密度流, 溶岩流, 岩屑なだれ他, 新しい火口の開口及び地殻変動)が発電所に影響を及ぼす可能性はない。
- 既往最大の噴火を考慮しても発電所に影響を及ぼさないと判断できることから、モニタリングの対象とはならない。

3. 原子力発電所に影響を及ぼし得る火山事象の抽出

- 3. 1 降下火砕物の影響評価
 - 3. 1. 1 文献調査
 - 3. 1. 2 地質調査
 - 3. 1. 3 シミュレーション
 - 3. 1. 4 降下火砕物の影響評価のまとめ
- 3. 2 敷地を中心とする半径160km内の火山による火山事象の影響評価

3. 原子力発電所に影響を及ぼし得る火山事象の抽出

➤ 女川原子力発電所の安全性に影響を及ぼす可能性のある火山事象について抽出を行った。

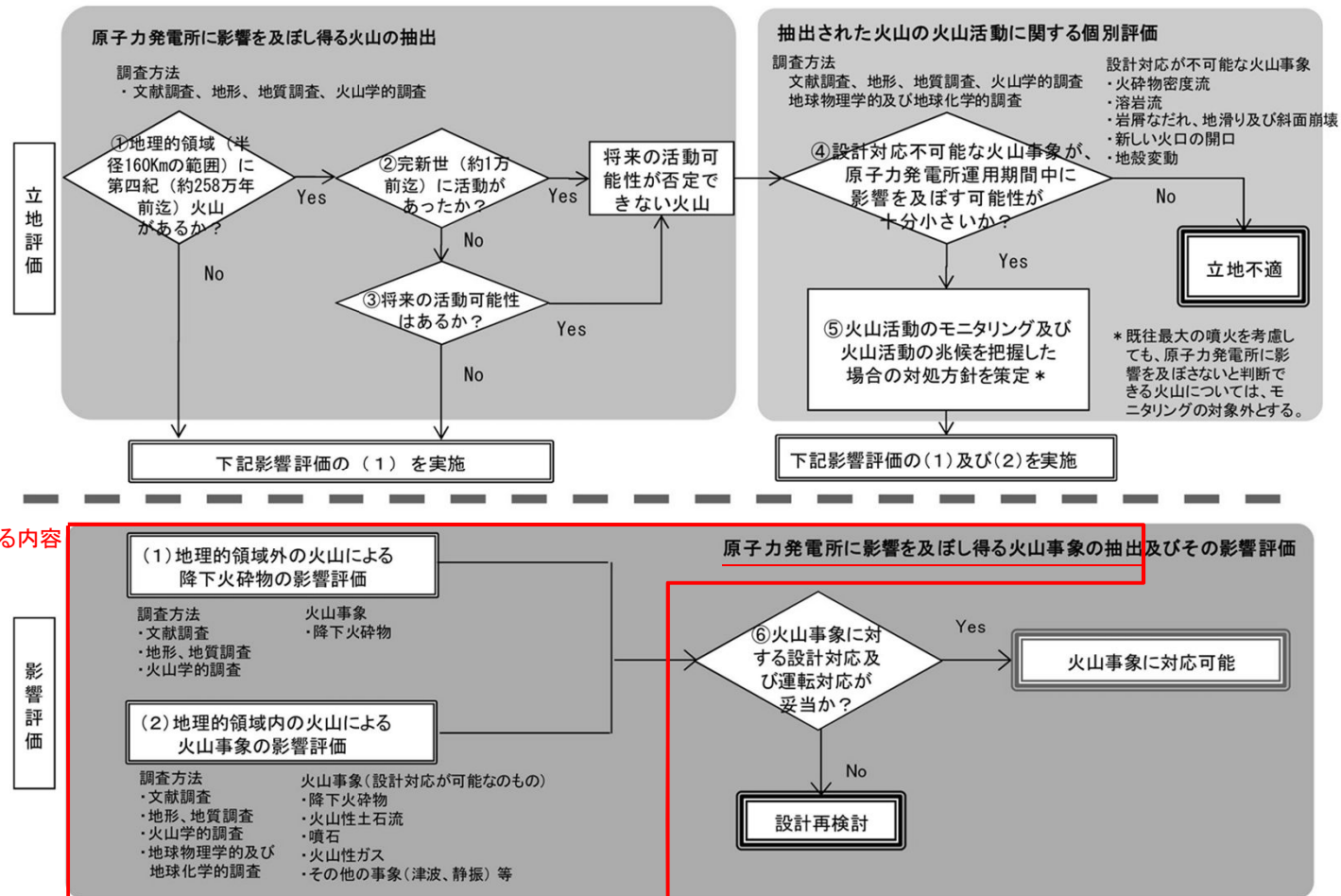


図1 原子力発電所に影響を及ぼす火山影響評価の基本フロー

「原子力発電所の火山影響評価ガイド」より抜粋，一部加筆

3. 原子力発電所に影響を及ぼし得る火山事象の抽出

3.1 降下火砕物の影響評価

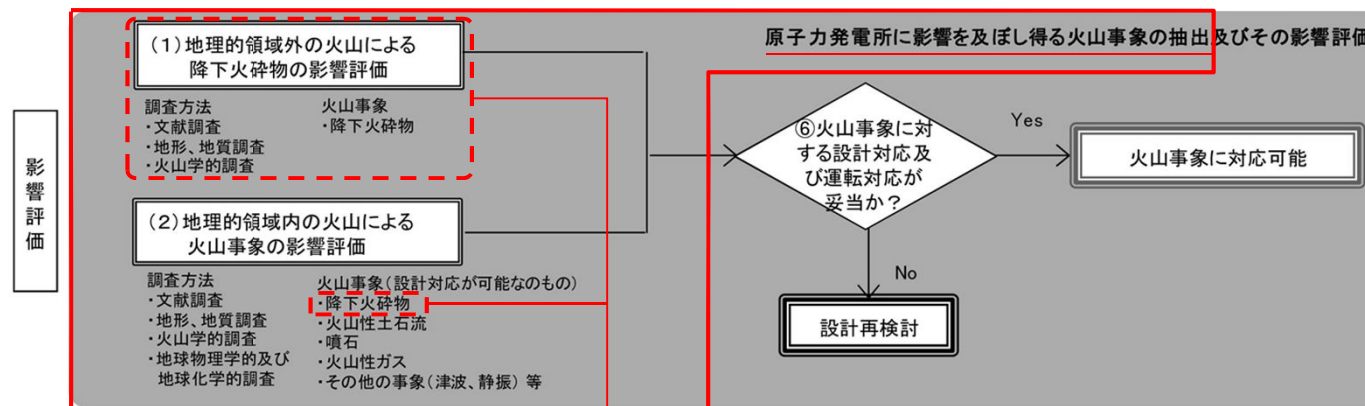


図1 原子力発電所に影響を及ぼす火山影響評価の基本フロー

- 女川原子力発電所の安全性に影響を及ぼす可能性のある火山事象のうち、降下火砕物の影響評価について検討を行った。
- 評価にあたっては、文献調査、地質調査及びシミュレーションの結果を総合的に検討する。

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^{※1}

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、サージ及びブラスト	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. 岩層なだれ、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. 地盤変動	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、多重衝撃	注4
13. 熱水系及び地下水の異常	熱水、腐食性水、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。

3. 原子力発電所に影響を及ぼし得る火山事象の抽出

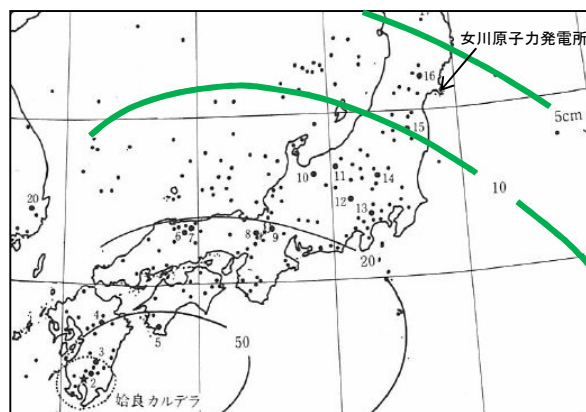
3.1 降下火砕物の影響評価

3.1.1 文献調査【広域①】

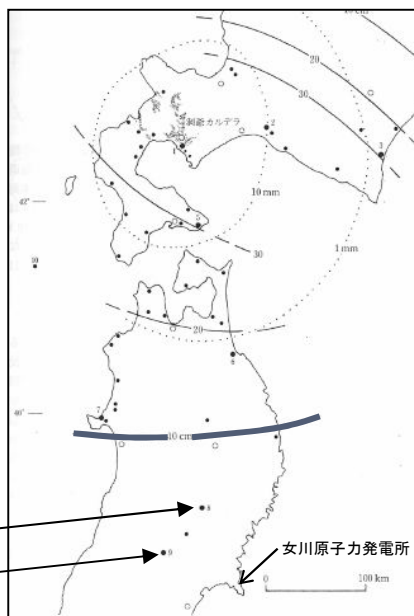
【文献調査結果(広域)】

- 女川原子力発電所の敷地に降灰した可能性のある広域の降下テフラとして、洞爺テフラ(Toya)、阿蘇4テフラ(Aso-4)、始良Tnテフラ(AT)、鬼界アカホヤテフラ(K-Ah)等が挙げられるが、いずれも数cmである。

テフラ名	女川地点の評価	
K-Ah	鬼界アカホヤテフラ	町田・新井(2003)によると、ほぼ0cm
K-Tz	鬼界葛原テフラ	町田・新井(2003)によると、2cm以下
AT	始良Tnテフラ	町田・新井(2003)によると、5~10cm
Toya	洞爺テフラ	町田・新井(2003)によると、10cm以下
Aso-4	阿蘇4テフラ	町田ほか(1985)によると、数cm

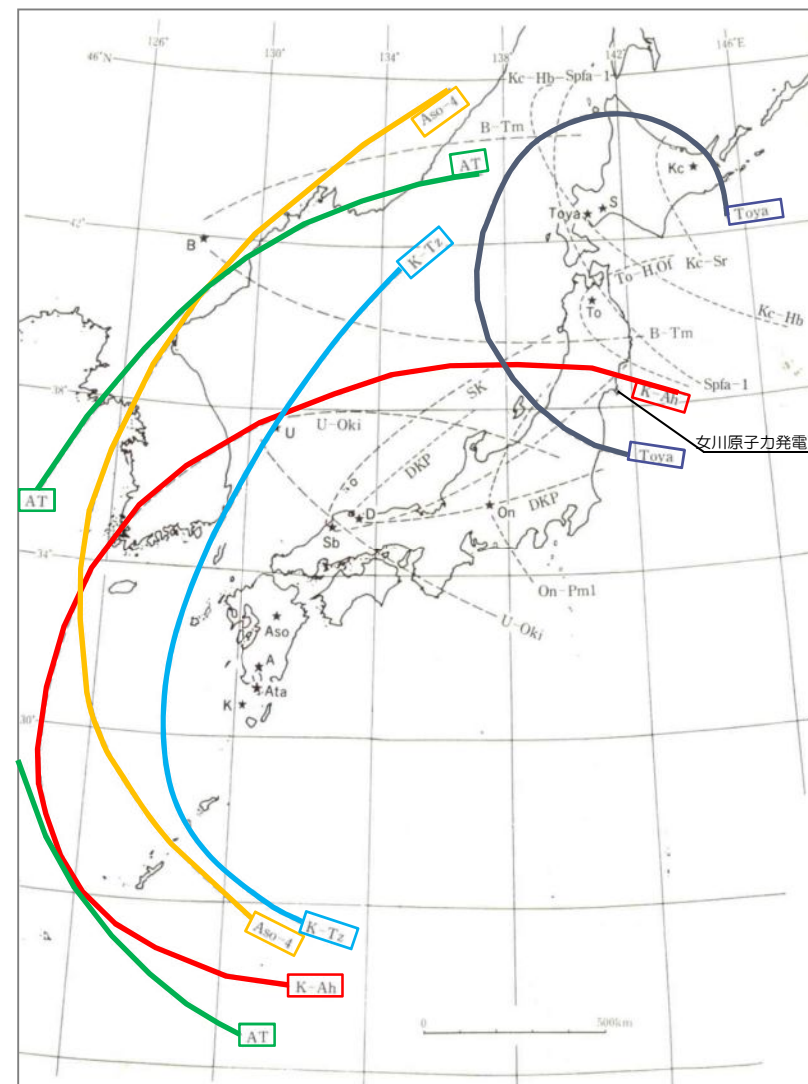


始良Tn火山灰(AT)の等層厚線図(町田・新井(2003)に一部加筆)



地点8:胆沢愛宕・2-3cm
[渡辺(1991)]
地点9:鳴子鬼首・8cm
[八木(1996)]

洞爺火山灰(Toya)の等層厚線図
(町田・新井(2003)に一部加筆)



広域テフラ分布(町田・新井(2003)に一部加筆)

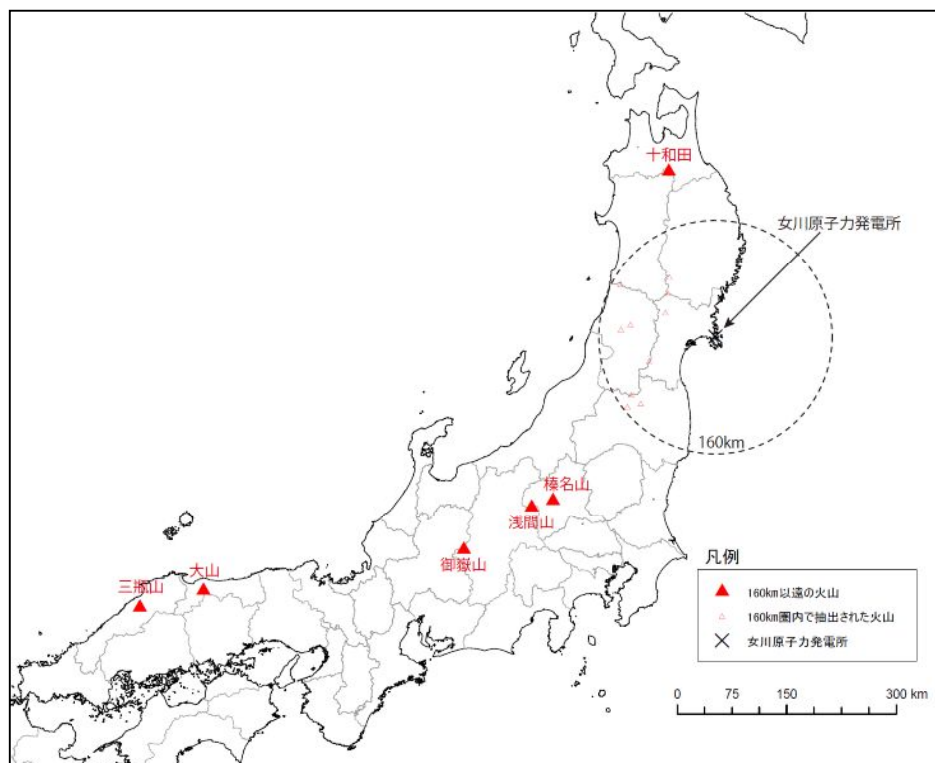
3. 原子力発電所に影響を及ぼし得る火山事象の抽出

3.1 降下火砕物の影響評価

3.1.1 文献調査【広域②】

【文献調査結果(広域)】

- 給源から女川原子力発電所の方向に降下テフラの分布軸をもつ160km以遠の火山(左下の図)と女川原子力発電所での評価(右下の表)を示す。
- これらの火山の女川原子力発電所での評価は、いずれも層厚0～数cmである。



給源から女川原子力発電所の方向に降下テフラの分布軸をもつ160km以遠の火山

給源から女川原子力発電所の方向に降下テフラの分布軸をもつ160km以遠の火山に関する評価一覧※

火山	テフラ名		女川原子力発電所での評価
十和田	To-a	十和田 a	敷地内の地質調査結果から、最大層厚6cm。
	To-Cu	十和田中礫	
榛名山	Hr-FP	榛名ニツ岳伊香保	町田・新井(2003)によると、0～数cm。
浅間山	As-A	浅間 A(天明)	町田・新井(2003)によると、ほぼ0cm。
	As-B	浅間 B(天仁)	
	As-C	浅間 C	
	UG	立川ローム 上部ガラス質部	
	As-K	浅間草津	
	As-YP	浅間板鼻黄色	
As-Sr	浅間白糸		
御嶽山	On-Pm1	御岳第 1	町田・新井(2003)によると、0～数cm。
大山	DKP	大山倉吉	町田・新井(2003)によると、ほぼ0cm。
三瓶山	SK	三瓶木次	町田・新井(2003)によると、ほぼ0cm。

※ 評価の詳細は、補足説明資料p29-38に示す。

3. 原子力発電所に影響を及ぼし得る火山事象の抽出

3.1 降下火砕物の影響評価

3.1.1 文献調査【東北地方①】

【文献調査結果(東北地方)】

- 女川原子力発電所の敷地または敷地近傍に降灰した可能性のある降下テフラは、肘折尾花沢(Hj-O), 十和田a(To-a), 榛名二ツ岳伊香保(Hr-FP)であり、いずれも、0~数cmである。
- 穴倉ほか(2007)によれば、石巻平野で実施した津波堆積物調査の結果から、十和田aが数cmの厚さで分布していることが報告されている。

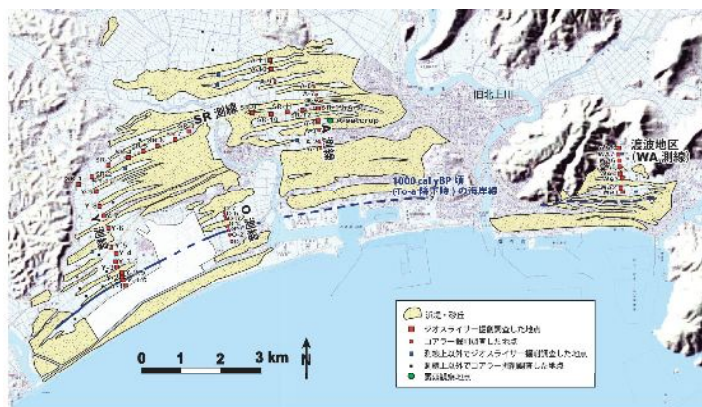


図2 石巻平野の地形と調査地点。黒丸は旧北上川河口より1.5 km分の1:10,000「内海」(穴倉「2007」)と併用。穴倉他, 2007. Geomorphology and zoning survey sites in the Ishinomaki Plain. Base maps are reprojected map of 1:25,000 "Wanohaka", "Ishinomaki", "Ikenobuchi" and "Cuo", published by Geographical Survey Institute.

石巻平野での津波堆積物調査(穴倉ほか(2007))

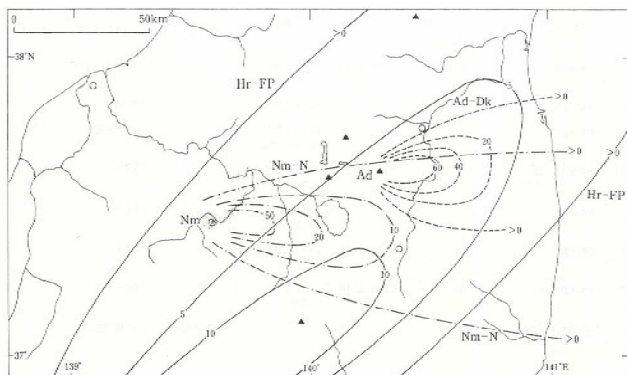


図3.4-1 東北地方南部の主要テフラの等層厚線図。
Hr-FP 榛名二ツ岳伊香保¹⁾ Nm-N 沼沢湖 (pHの分布も示す)¹⁾²⁾ Ad-Dk 安達太良山³⁾
Nm: 沼沢湖, Ad: 安達太良山。
(1) Arai et al. (1985), 2) 只見川第四紀研究グループ (1996a), 3) 山元・飯口 (2000)

東北地方南部の主要テフラの等層厚線図(町田・新井(2003))

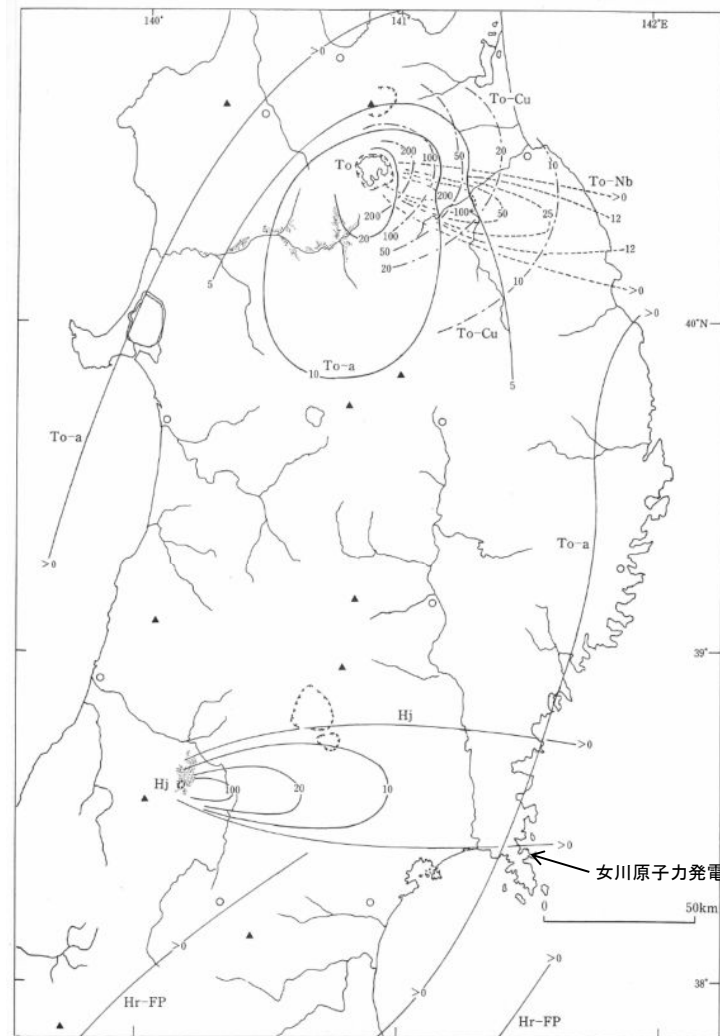


図3.4-2 東北地方の完新世主要テフラの等層厚線図。
To-a 十和田a (pHの分布も示す)¹⁾²⁾³⁾⁴⁾ Hr-FP 榛名二ツ岳伊香保²⁾ To-Cu 十和田中嶺²⁾
To-Nb 十和田南部²⁾ Hj 肘折尾花沢 (pHの分布も示す) To: 十和田, Hj: 肘折。
(1) 町田ほか (1981a), 2) Arai et al. (1986), 3) Hayakawa (1985)

東北地方の完新世主要テフラの等層厚線図
(町田・新井(2003)に一部加筆)



3. 原子力発電所に影響を及ぼし得る火山事象の抽出

3. 1 降下火砕物の影響評価

3. 1. 1 文献調査【東北地方②】

【文献調査結果(東北地方)】

- 女川原子力発電所の敷地または敷地近傍に降灰した可能性のある東北地方を給源とした降下テフラは、蔵王－川崎(Za-Kw)、鳴子－柳沢(Nr-Y)、鳴子－荷坂(Nr-N)、鳴子－一迫(Nr-It)及び安達－愛島(Ac-Md)であり、いずれも、0～数cmである。

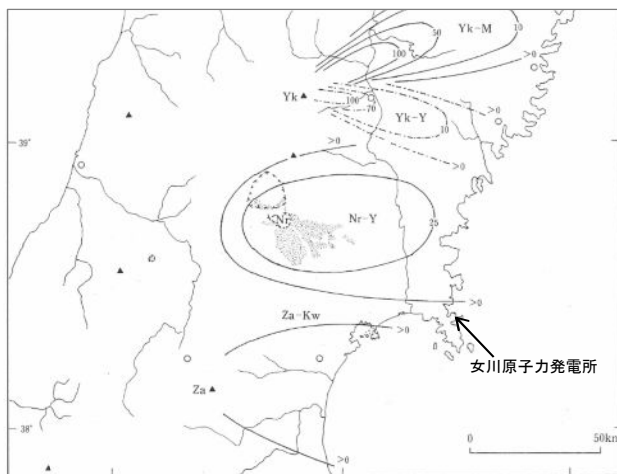


図 3.4-3 東北地方の後期更新世主要テフラの等層厚線図(その1)。

Ak-Y 秋田駒形^{1,2)} Ak-K 秋田駒小岩¹⁾ Za-Kw 蔵王川崎²⁾ Yk-Y 焼石山²⁾
 Yk-M 焼石村崎野²⁾ Nr-Y 鳴子柳沢²⁾ (pftの分布も示す) To-G 十和田合同^{3,4)} To-Rd 十和田レッド^{3,4)}
 To: 十和田, Iw: 岩手, Ak: 秋田駒, Yk: 焼石, Nr: 鳴子, Za: 蔵王
 [1] 大上・土井(1978), 2) Arai et al.(1986), 3) 大上・吉田(1984), 4) 早田(1989b), 5) 大池・中川(1979), 6) 松山・大池(1986), 7) 土井(1990)

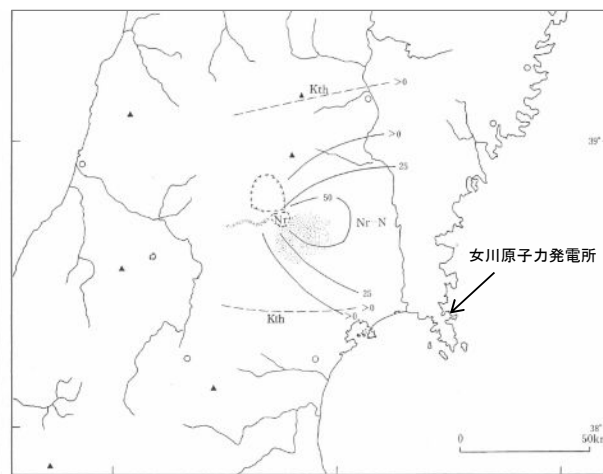


図 3.4-4 東北地方の後期更新世主要テフラの等層厚線図(その2)。

To-SP 十和田SP^{1,2)} To-Ok 十和田オコン^{2,3)} To-QP 十和田QP^{1,2)} Kw 十和田川口^{3,4)}
 Iw-Od 西岩手生田⁵⁾ Iw-Y 西岩手雪浦⁵⁾ Nr-N 鳴子荷坂 (pftの分布も示す)⁶⁾ Kth 北嶺⁶⁾
 To: 十和田, Iw: 岩手, Nr: 鳴子
 [1] 大池・中川(1979), 2) 松山・大池(1986), 3) 大上・土井(1978), 4) 早田(1989b), 5) 土井(1990), 6) 土井(1990)

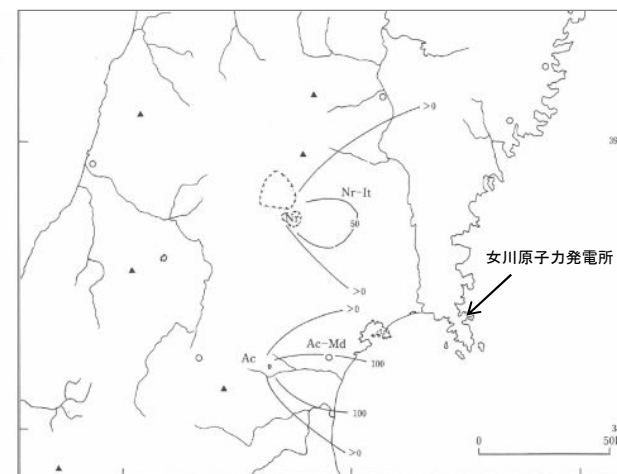


図 3.4-5 東北地方の後期更新世主要テフラの等層厚線図(その3)。

To-AP 十和田アオスジ^{1,2)} To-CP 十和田カステラ^{1,2)} ZP2 ザラメ^{2,3)} Nr-It 鳴子一迫⁶⁾
 Ac-Md 安達愛島⁵⁾ To: 十和田, Nr: 鳴子, Ac: 安達
 [1] 大池・中川(1979), 2) 松山・大池(1986), 3) 早田(1989b)

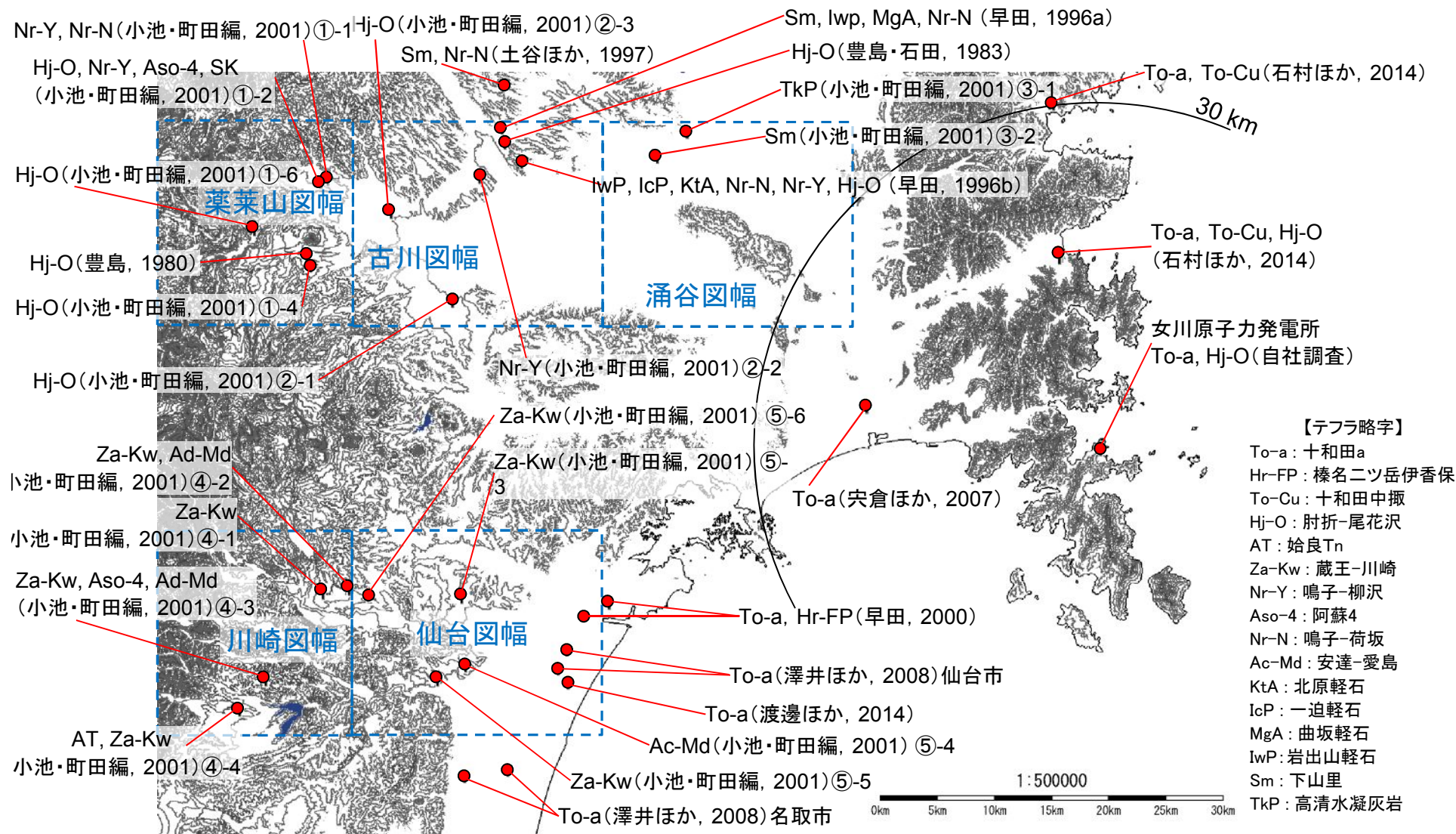
東北地方の後期更新世主要テフラの等層厚線図(町田・新井(2003))に一部加筆

3. 原子力発電所に影響を及ぼし得る火山事象の抽出

3.1 降下火砕物の影響評価

3.1.1 文献調査【敷地周辺】

本図に示している降下火砕物の詳細については、補足説明資料p40-46に示す。



> 敷地周辺(30km圏内)では、十和田a(To-a)、十和田中掬(To-Cu)、肘折-尾花沢(Hj-O)が確認されている。
 > 仙台周辺では蔵王-川崎(Za-Kw)、安達-愛島(Ac-Md)が多く認められ、始良Tn(AT)、阿蘇4(Aso-4)、榛名ニツ岳伊香保(Hr-FP)なども一部で確認されている。石巻平野以西では、鳴子カルデラより噴出したテフラが多い。

3. 原子力発電所に影響を及ぼし得る火山事象の抽出

3.1 降下火砕物の影響評価

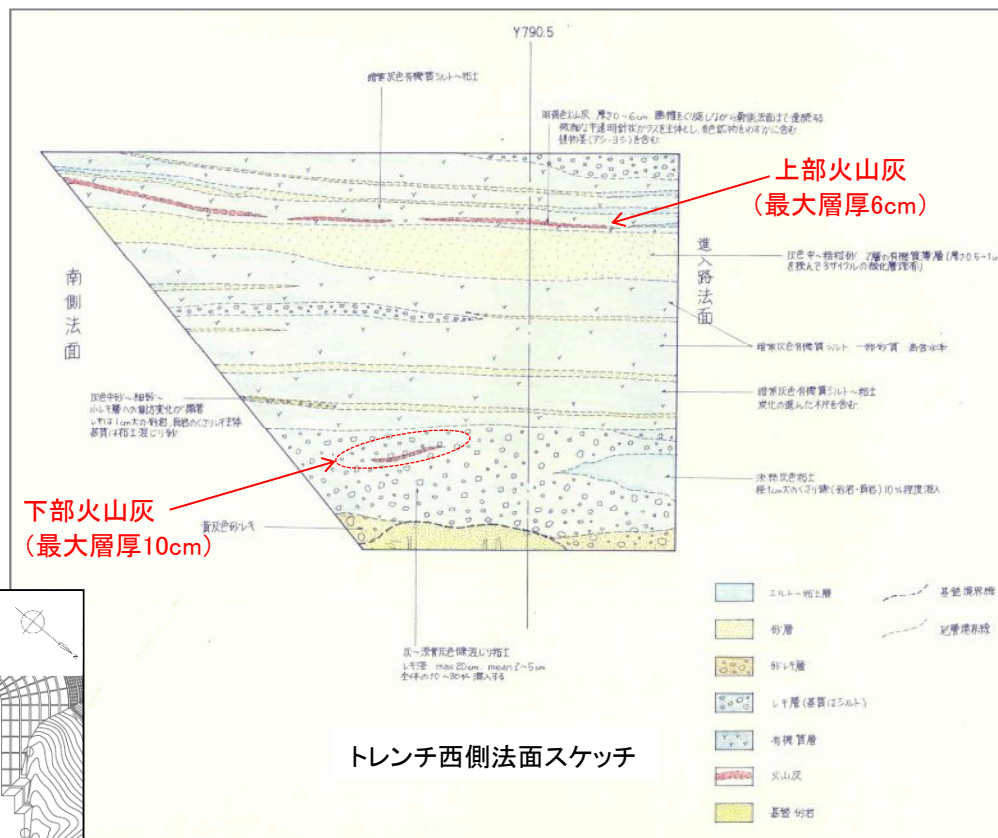
3.1.2 地質調査

【敷地周辺の地質調査結果】

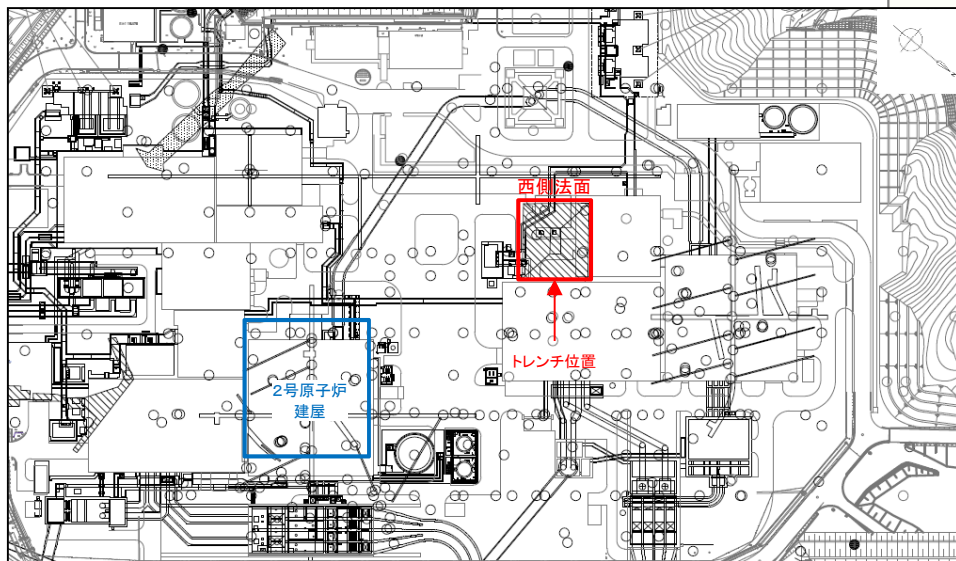
- 敷地周辺において実施した地質調査の結果から、明瞭な降下火砕物は確認されていない。

【敷地及び敷地付近の地質調査結果】

- 敷地内において実施した地質調査のうち、女川2号炉建設時のトレンチ調査において、最大層厚6cmと10cmの2枚の火山灰を確認した。
- 下部で局所的に確認された最大層厚10cmの火山灰(O.P.-3m付近)は、¹⁴C年代測定、顕微鏡観察等の結果から、肘折一尾花沢テフラであると考えられる。
- 上部で確認された最大層厚6cmの火山灰(O.P.+2m付近)は、顕微鏡観察等の結果から、十和田aテフラと考えられるものの、かなり不純物を含んでおり、給源の特定には至っていないが、穴倉ほか(2007)の結果を踏まえれば、十和田aテフラである可能性は高い。



トレンチ西側法面スケッチ



トレンチ調査位置図



トレンチ西側法面写真

3. 原子力発電所に影響を及ぼし得る火山事象の抽出

3.1 降下火砕物の影響評価

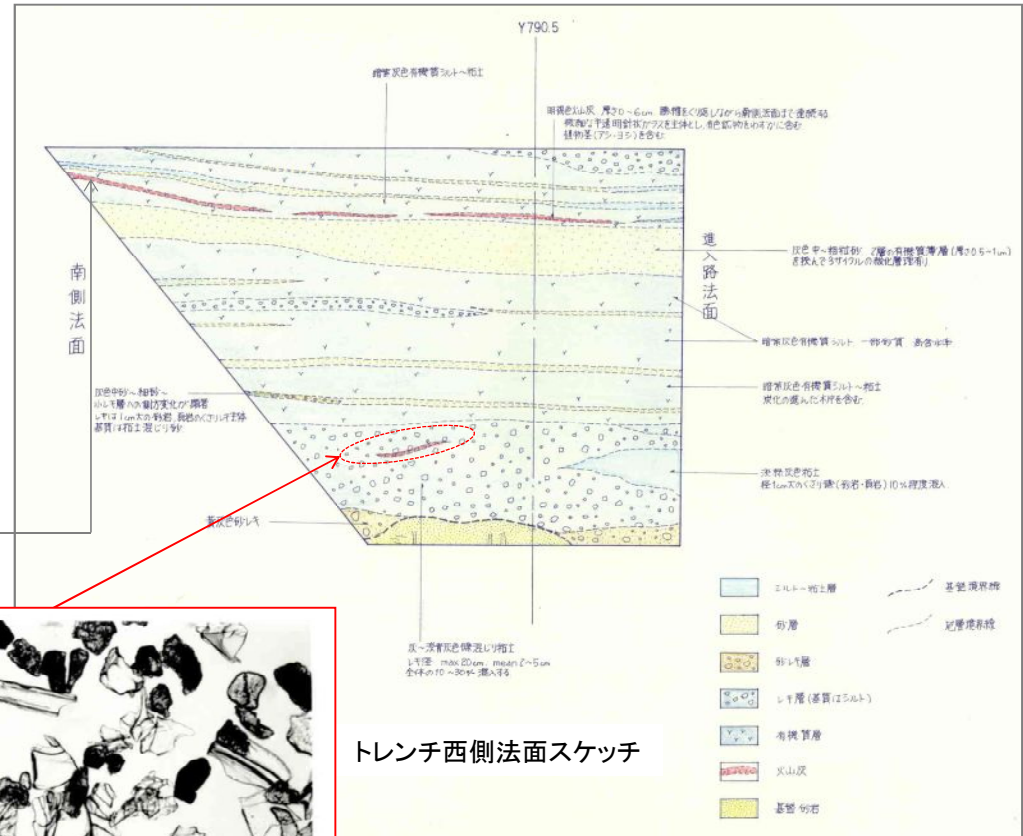
3.1.2 地質調査【顕微鏡観察結果等】

【顕微鏡観察結果】

- 女川2号炉建設時の昭和60年に、東北大学理学部地質学古生物学教室の中川助教授(当時)に試料を確認していただき、下部の火山灰は肘折一尾花沢に酷似し、上部の火山灰は十和田aテフラの可能性もあるが、かなり不純物が混じっており定かではないとのコメントをいただいている。
- なお、粒径については顕微鏡写真より0.02~0.25mm程度と推定した。

【その他】

- 密度については、宇井編(1997)を踏まえ、乾燥密度を0.7g/cm³、湿潤密度を1.5g/cm³とした。



顕微鏡写真

3. 原子力発電所に影響を及ぼし得る火山事象の抽出

3.1 降下火砕物の影響評価

3.1.2 地質調査【¹⁴C年代測定結果】

第189回審査会合
資料2-1加筆修正

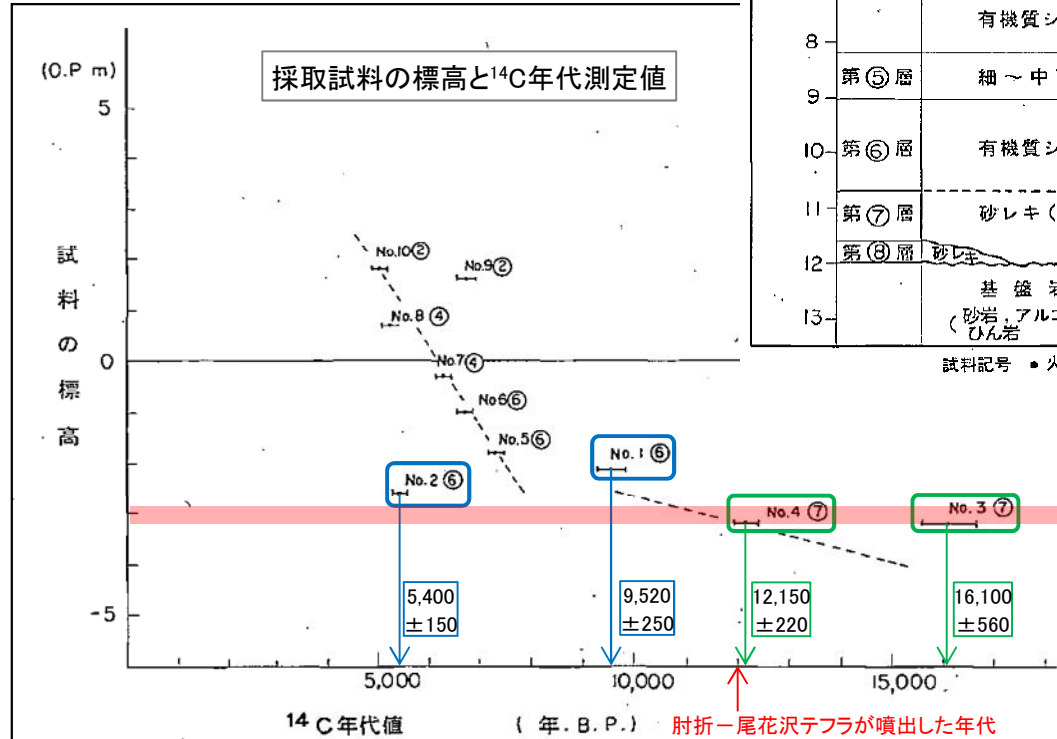
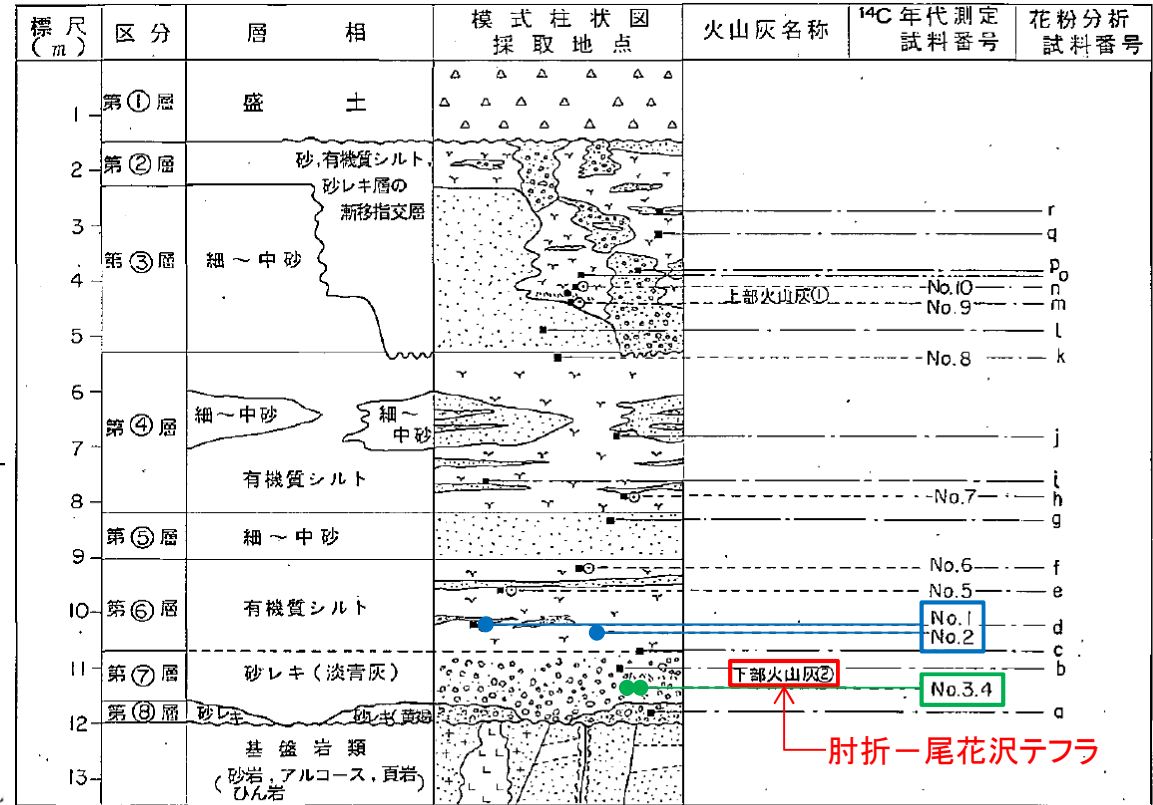
¹⁴C年代測定及び火山灰の試料採取層準

【¹⁴C年代測定結果】

- 下部火山灰(肘折-尾花沢テフラ)よりも下部で採取したNo.3及びNo.4試料(木片)からは, それぞれ, $16,100 \pm 560$ 年前及び $12,150 \pm 220$ 年前との結果が得られた。
- また, 下部火山灰(肘折-尾花沢テフラ)よりも上部で採取したNo.1試料(有機質土)及びNo.2試料(木片)からは, それぞれ, $9,520 \pm 250$ 年前及び $5,400 \pm 150$ 年前との結果が得られた。さらにそれよりも上部の試料も $5,000 \sim 7,000$ 年前との結果であった。



肘折-尾花沢テフラは約12,000年前に噴出したと考えられていることと整合している。



3. 原子力発電所に影響を及ぼし得る火山事象の抽出

3.1 降下火砕物の影響評価

3.1.3 シミュレーション【概要および対象火山の抽出】

【概要】

シミュレーションを用いた降下火砕物の堆積厚を確認するフローを示す。

【追加検討の内容】

以下に示す2つの選定項目を両方とも満たす火山について、降下火砕物のシミュレーション対象火山とする。

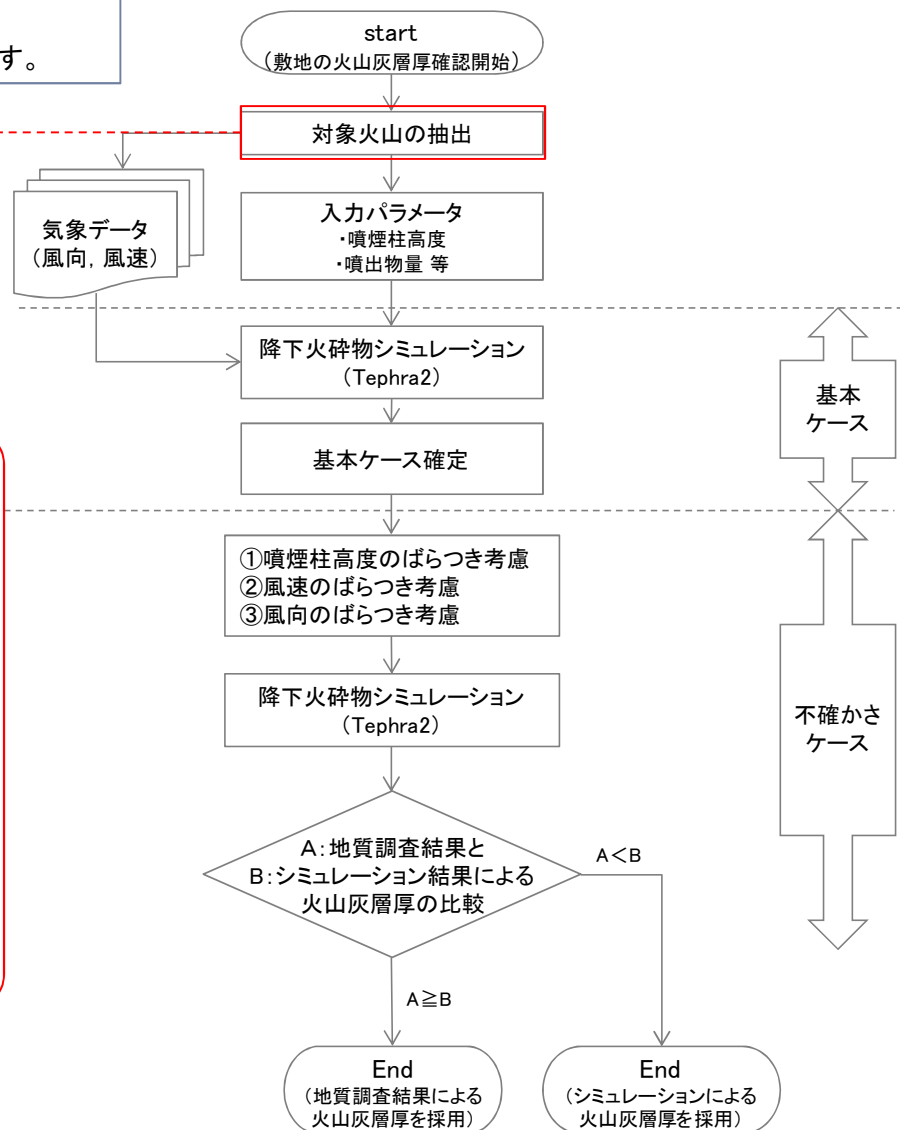
【選定項目1】

敷地内及び敷地周辺において、降下火砕物の分布状況を調査し、その分布状況が広がり有している降下火砕物の給源火山を選定する。

【選定項目2】

原子力発電所に影響を及ぼし得る10火山及び十和田について、火山タイプを確認し、「溶岩卓越タイプ」と判断される火山以外を選定する。

選定項目1及び2の両方を満たす火山について、降下火砕物のシミュレーション対象火山とする。



3. 原子力発電所に影響を及ぼし得る火山事象の抽出

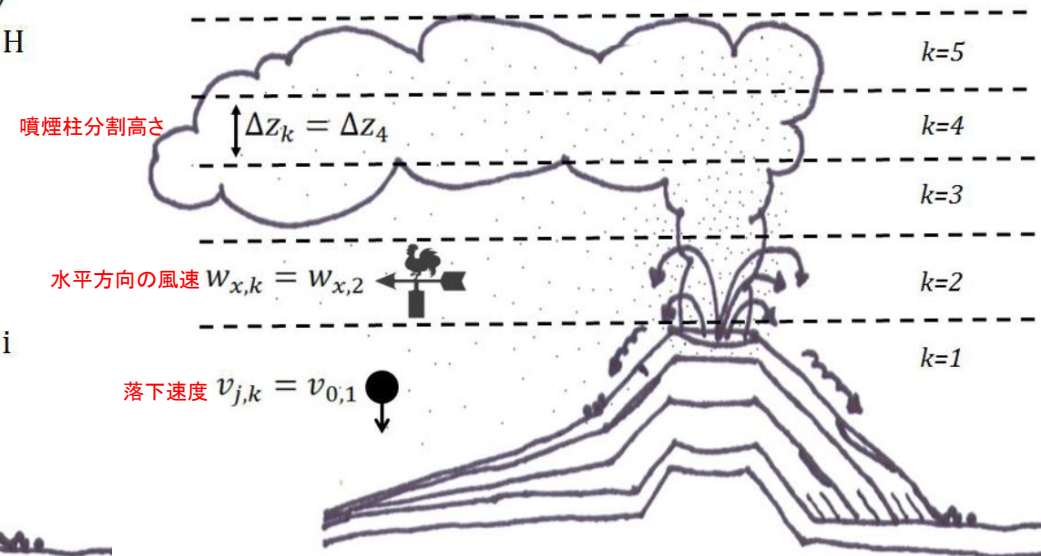
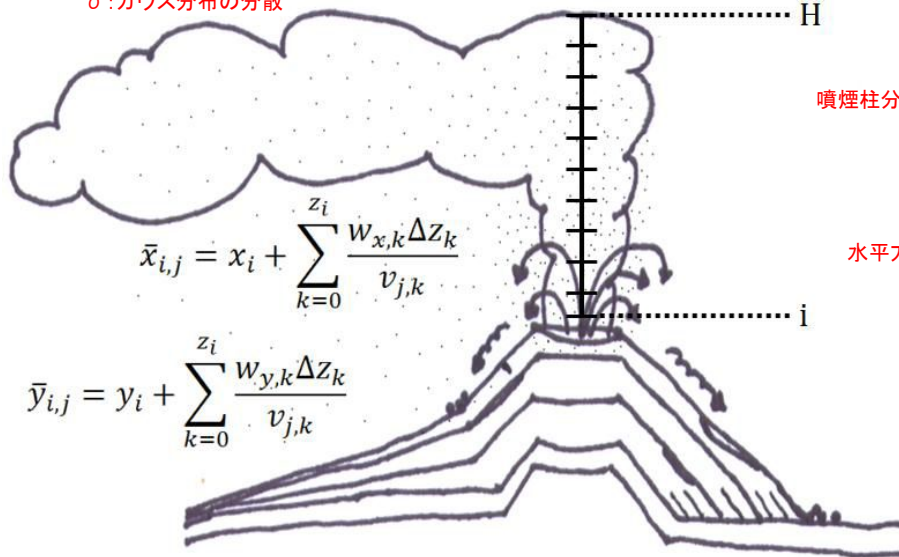
3. 1 降下火砕物の影響評価

3. 1. 3 シミュレーション 【解析コード「Tephra2」の概要】

- 「Tephra2」は移流拡散モデルを用いたシミュレーションプログラムであり、火山灰の降灰範囲の予測や既往噴火の降灰状況の復元を目的として利用されている（「Tephra2」を用いた再現計算の事例を補足説明資料p48に示す）。
- 移流拡散モデルとは火山灰の挙動を、重力による落下、風による移動（移流）及び空中で火山灰が自発的に散らばる現象（拡散）で計算するものである。
- 風は高度毎に水平な一方向に吹くものとされ、拡散も水平方向のみが考慮されている。
- 火山灰は火口上に仮定された均質な噴煙柱から放出される。

$$f_{i,j}(x,y) = \frac{1}{2\pi\sigma_{i,j}^2} \exp\left(-\frac{(x - \bar{x}_{i,j})^2 + (y - \bar{y}_{i,j})^2}{2\sigma_{i,j}^2}\right)$$

σ : ガウス分布の分散



「Tephra2」の移流拡散モデルと支配方程式 (Tephra2 Users Manual (2011) に一部加筆)

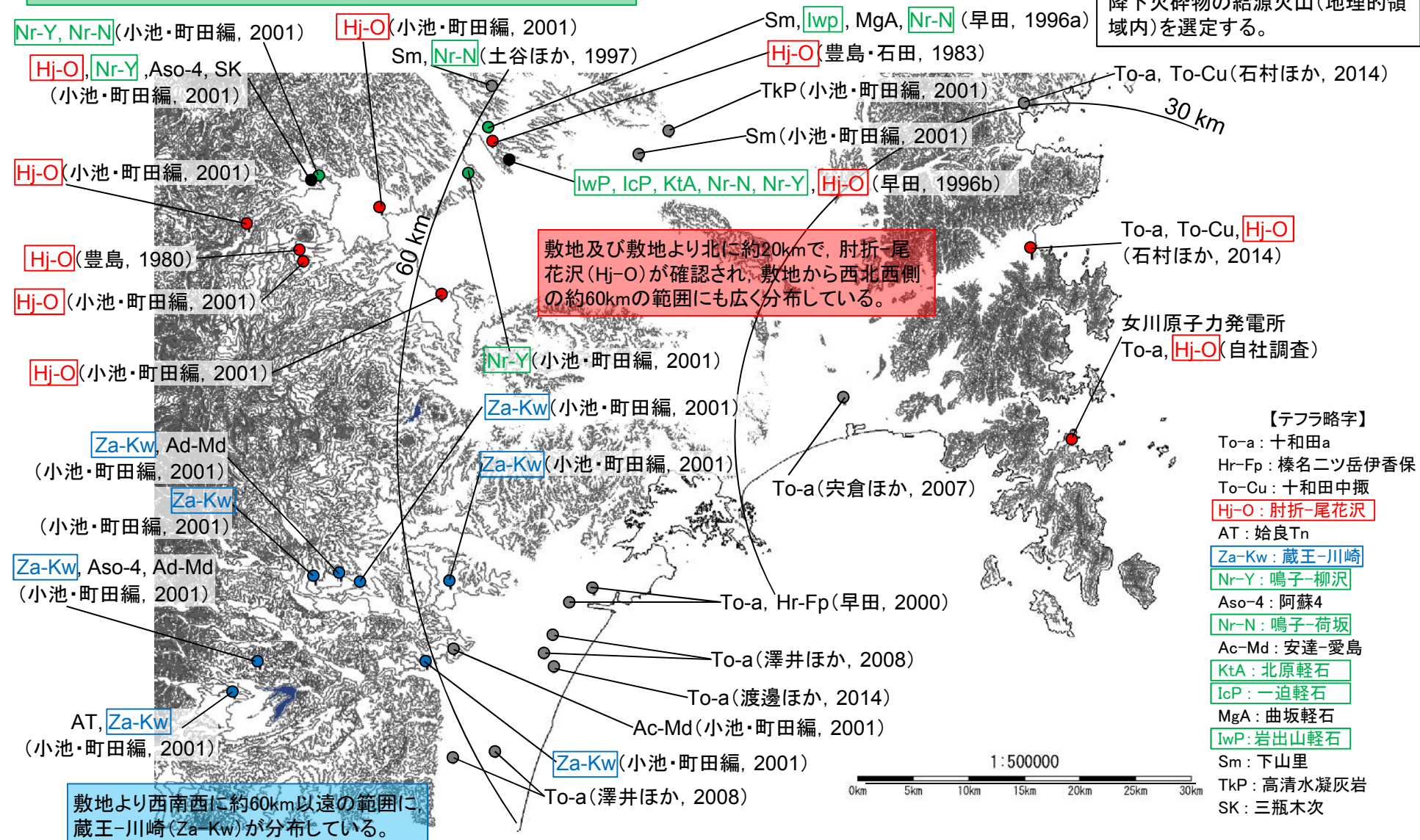
3. 原子力発電所に影響を及ぼし得る火山事象の抽出

3.1 降下火砕物の影響評価

3.1.3 シミュレーション【対象火山の抽出①-1】

【選定項目1】地理的領域内の火山
敷地内及び敷地周辺において、降下火砕物の分布状況を調査し、その分布状況が広がりをもっている降下火砕物の給源火山(地理的領域内)を選定する。

敷地から西北西方向の約60kmの範囲に、鳴子カルデラを給源とする降下火砕物が分布している。

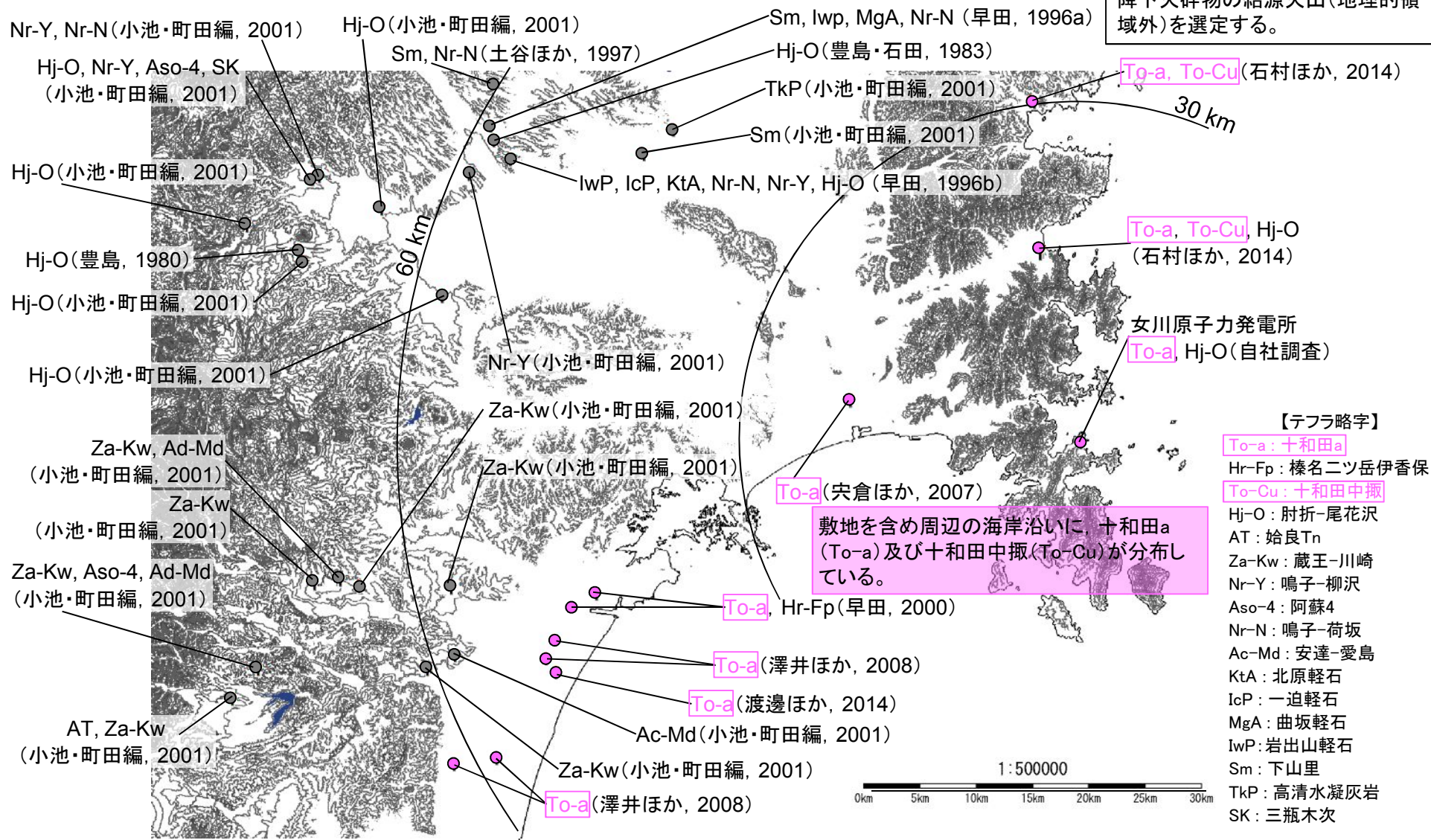


3. 原子力発電所に影響を及ぼし得る火山事象の抽出

3.1 降下火砕物の影響評価

3.1.3 シミュレーション【対象火山の抽出①-2】

【選定項目1】地理的領域外の火山
 敷地内及び敷地周辺において、降下火砕物の分布状況を調査し、その分布状況が広がりをもっている降下火砕物の給源火山(地理的領域外)を選定する。



3. 原子力発電所に影響を及ぼし得る火山事象の抽出

3.1 降下火砕物の影響評価

3.1.3 シミュレーション【対象火山の抽出②】

【選定項目2】
 原子力発電所に影響を及ぼし得る10火山及び十和田について、火山タイプを確認し、「溶岩卓越タイプ」と判断される火山以外を選定する。

敷地から160km範囲内の火山及び十和田(地理的領域外の火山)について、火山タイプを右表に示す。

↓ 溶岩卓越タイプを除外

鳴子カルデラ、蔵王山、肘折カルデラ、吾妻山、磐梯山及び十和田が選定される。

表 各火山の火山タイプ

火山名	敷地からの距離(km)	火山タイプ	敷地周辺で確認されているテフラ
鳴子カルデラ	76	降下火砕物卓越	Nr-N, Nr-Y
栗駒山	87	溶岩卓越	—
蔵王山	97	溶岩・火砕岩類	Za-Kw
焼石岳	102	溶岩卓越	—
肘折カルデラ	117	火砕物密度流卓越	Hj-O
月山	129	溶岩卓越	—
安達太良山	136	溶岩卓越	—
吾妻山	140	火砕岩卓越	—
鳥海山	148	溶岩卓越	—
磐梯山	153	溶岩・火砕岩類	—
十和田	236	火砕物密度流卓越	To-a, To-Cu

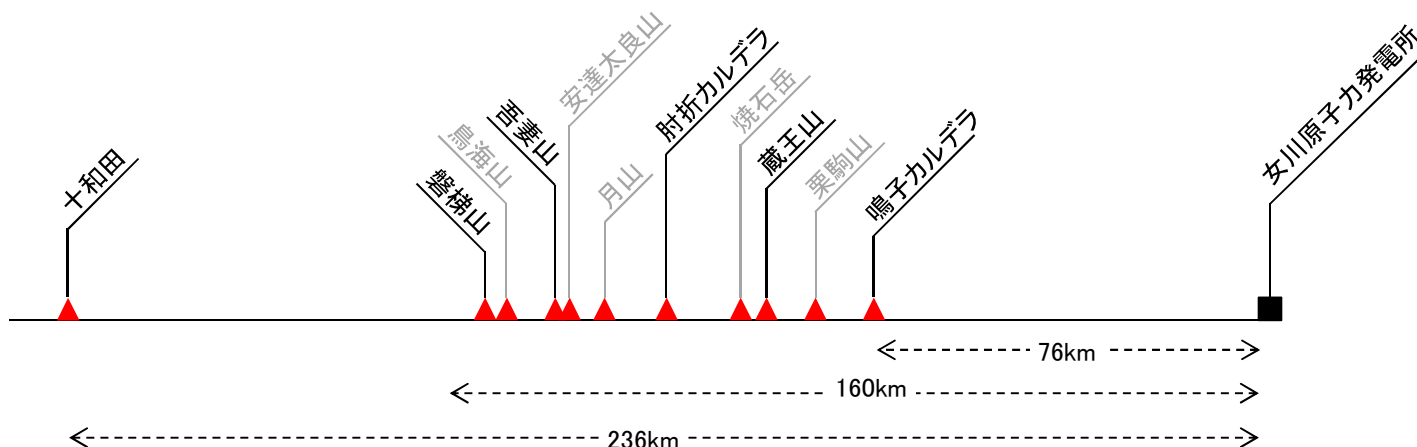
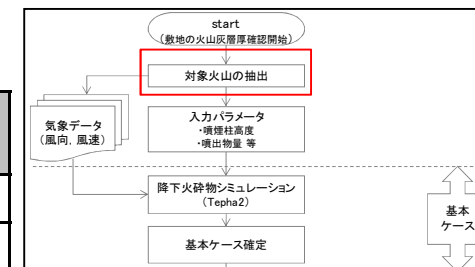
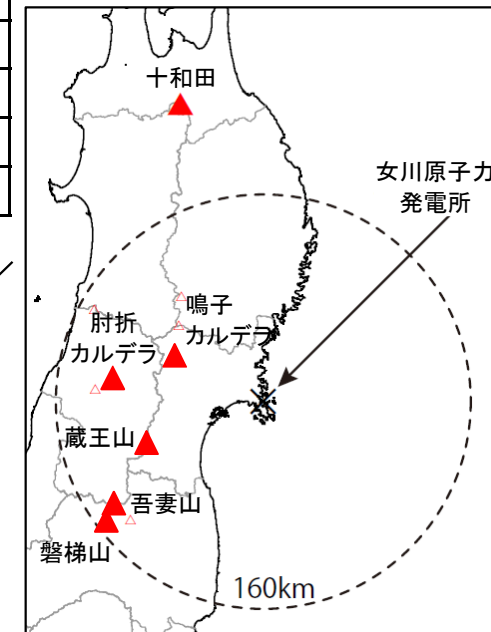


図 各火山と敷地との距離



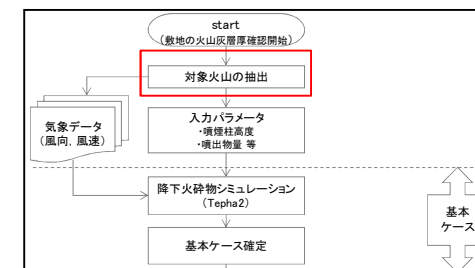
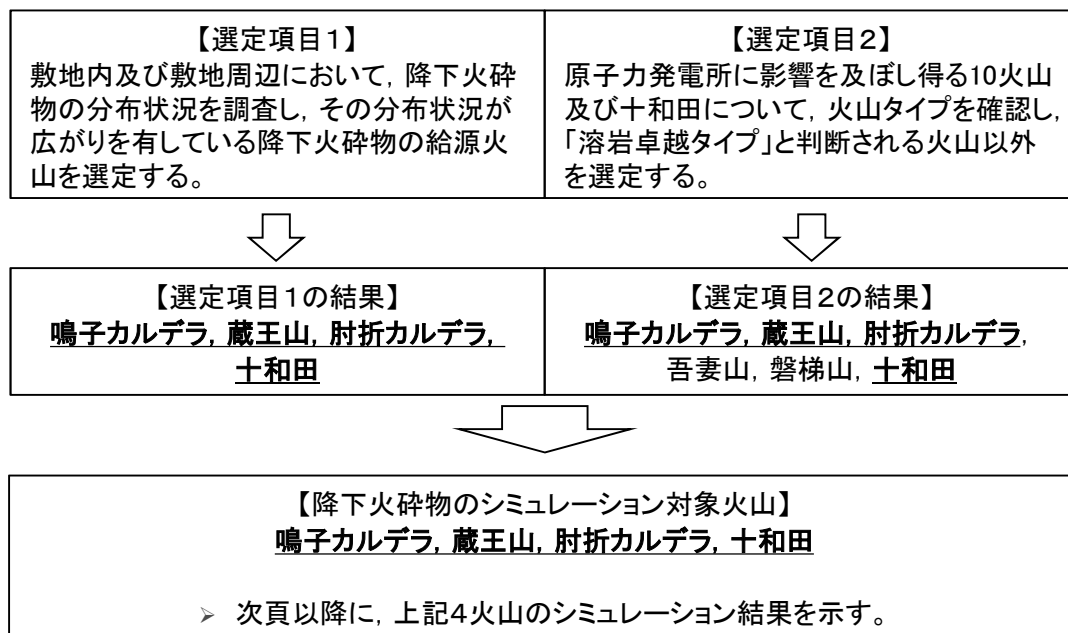
シミュレーションを用いた降下火砕物の堆積厚さ確認フロー



3. 原子力発電所に影響を及ぼし得る火山事象の抽出

3.1 降下火砕物の影響評価

3.1.3 シミュレーション【対象火山の抽出のまとめ】



シミュレーションを用いた降下火砕物の堆積厚さ確認フロー

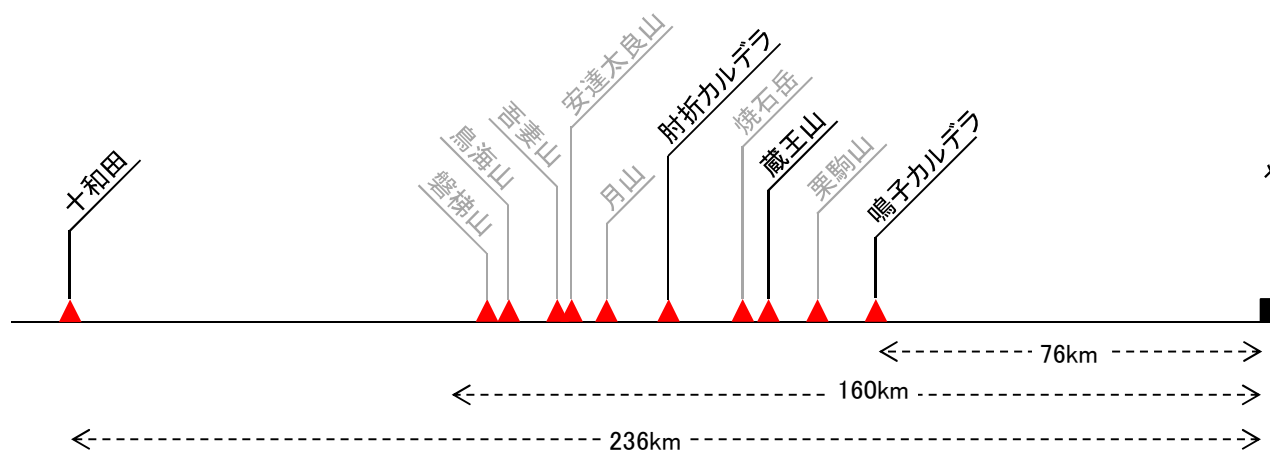
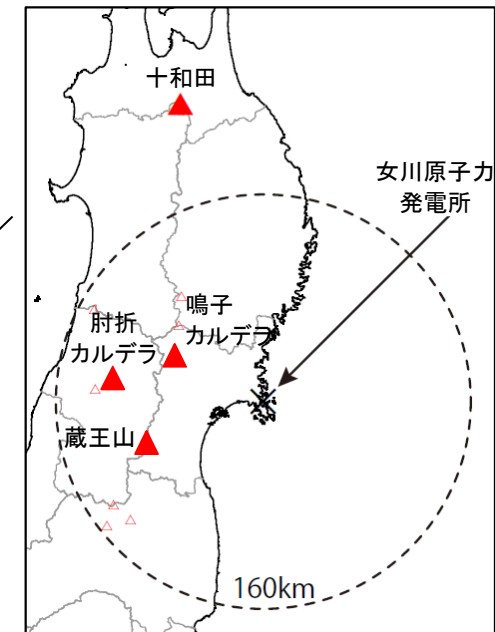


図 各火山と敷地との距離

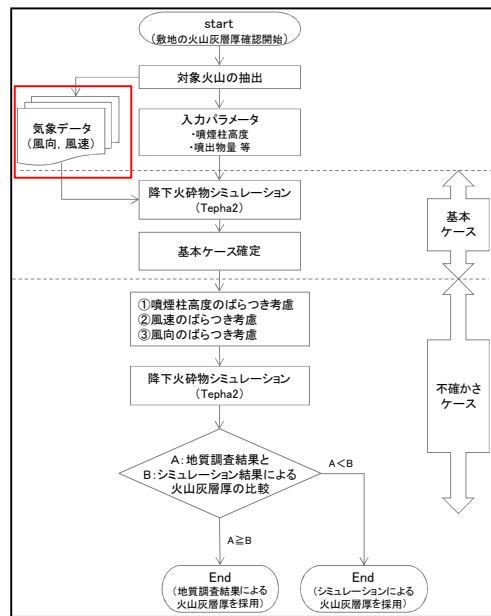


3. 原子力発電所に影響を及ぼし得る火山事象の抽出

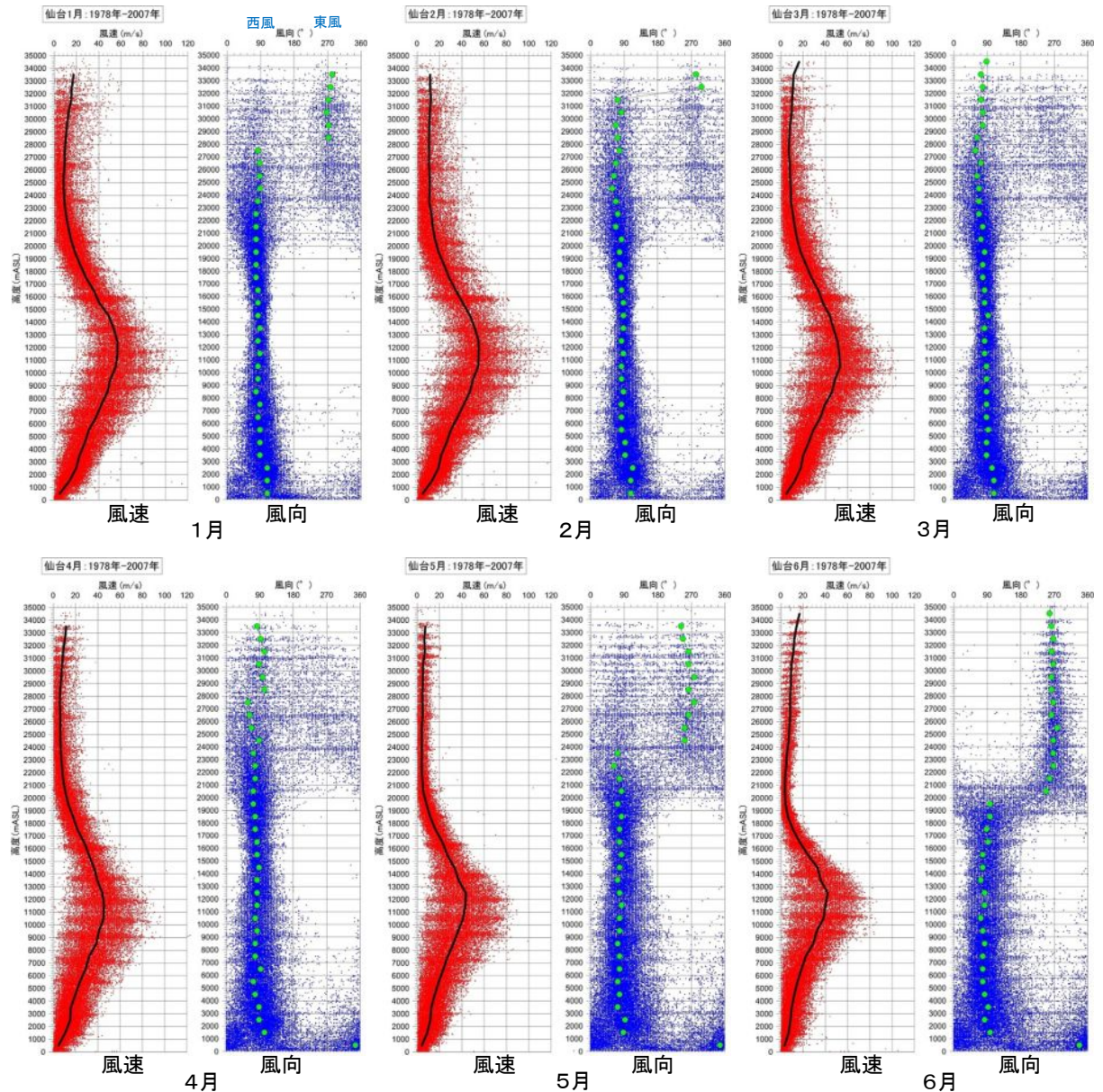
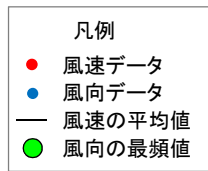
3.1 降下火砕物の影響評価

3.1.3 シミュレーション【気象データ①】

- ▶ 降下火砕物シミュレーションに用いる風速及び風向の気象データについては、敷地に近い仙台管区気象台の観測記録(1978年~2007年までの30年間)をワイオミング大学より取得し、風速は月別平均値、風向は月別最頻値を求めた。
- ▶ 風速の月別平均値と風向の月別最頻値の算出にあたっては、1日2回(9時, 21時)のデータをすべて用いた。
- ▶ 風速は冬季の最大60m/s程度(ジェット気流)である。
- ▶ 風向は西風が卓越しているが、夏季及び冬季の成層圏においては東風になる傾向が示されている。



シミュレーションを用いた降下火砕物の堆積厚さ確認フロー

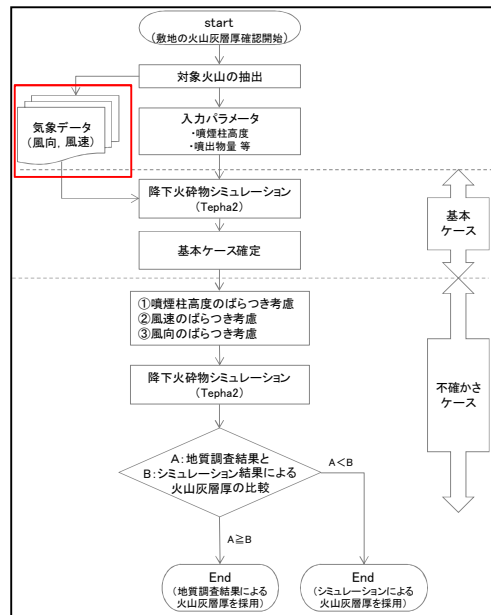


3. 原子力発電所に影響を及ぼし得る火山事象の抽出

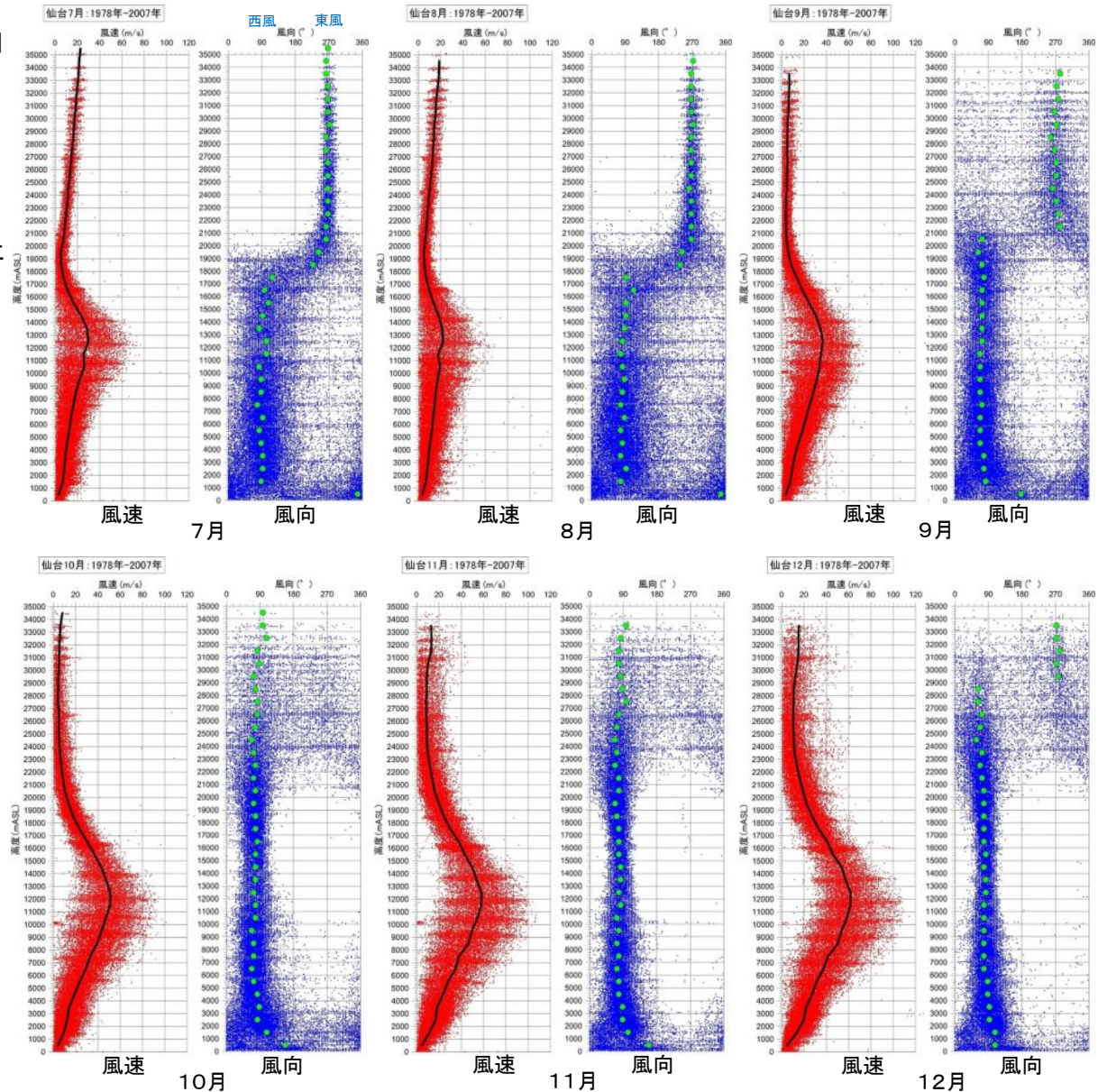
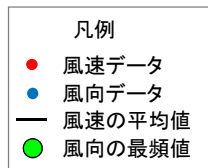
3.1 降下火砕物の影響評価

3.1.3 シミュレーション【気象データ②】

- ▶ 降下火砕物シミュレーションに用いる風速及び風向の気象データについては、敷地に近い仙台管区気象台の観測記録(1978年~2007年までの30年間)をワイオミング大学より取得し、風速は月別平均値、風向は月別最頻値を求めた。
- ▶ 風速の月別平均値と風向の月別最頻値の算出にあたっては、1日2回(9時, 21時)のデータをすべて用いた。
- ▶ 風速は冬季の最大60m/s程度(ジェット気流)である。
- ▶ 風向は西風が卓越しているが、夏季及び冬季の成層圏においては東風になる傾向が示されている。



シミュレーションを用いた降下火砕物の堆積厚さ確認フロー



3. 原子力発電所に影響を及ぼし得る火山事象の抽出

3. 1 降下火砕物の影響評価

3. 1. 3 シミュレーション 【肘折カルデラ: 入力パラメータ①】

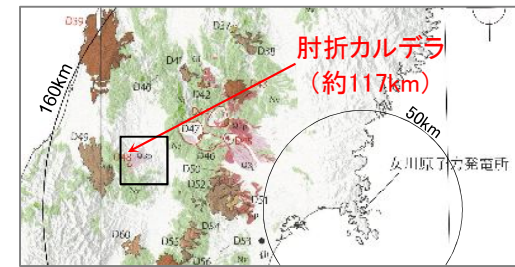
【噴出量について】

- 肘折カルデラは約12,000年前に活動し、短時間で活動のピークを迎えた。
- 12,000年前以降の噴出物は確認されていない。
- 上記の噴出量のうち火山灰の噴出量は、宮城(2007)によれば約0.25 (DRE km³)、須藤ほか(2007)によれば0.69 (DRE km³)であると報告されている。



肘折カルデラの降下火砕物シミュレーションに用いる噴出量を須藤ほか(2007)の0.69 (DRE km³)に設定する。

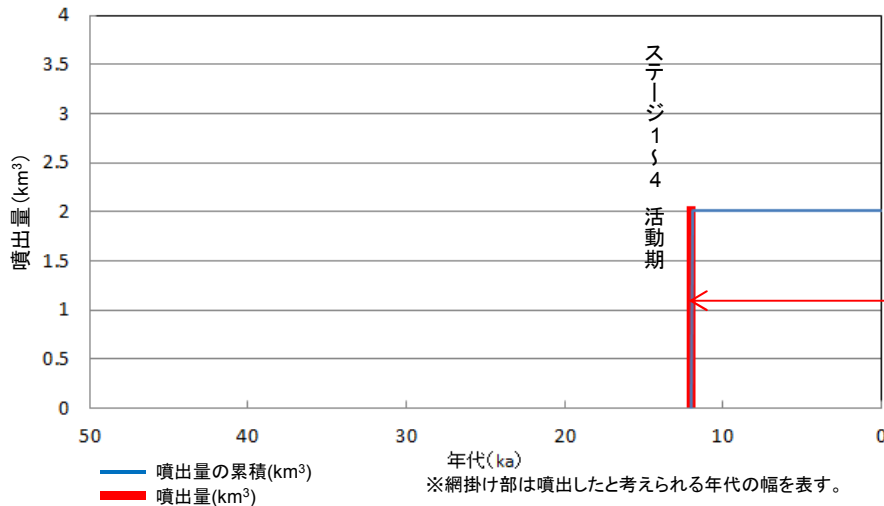
火山名	肘折カルデラ
敷地からの距離	約117km
火山の形式/タイプ	カルデラ/火砕物密度流卓越タイプ
活動年代	約1万2000年前
概要	肘折カルデラは、山形県尾花沢市の西約20km、月山の北東約15kmに位置する。構成する地形は、内径約2km、外径約3kmのカルデラであり、火砕流台地がその南方数kmと北方約8kmにかけて分布している。噴気活動はないが、地熱活動が継続している。デイサイトからなる。
噴出物	<ul style="list-style-type: none"> ➢ 肘折カルデラは約12,000年前に活動し、噴出量は約2.02km³、短時間で活動のピークを迎えた。 ➢ 12,000年前以降の噴出物は確認されていない。 ➢ 火砕物密度流は、5層記載されており、分布範囲は山体周辺(南方および北方方向)に限られる。



敷地を中心とする半径160kmの範囲の火山地質図 (中野ほか編(2013)による)

Table 1. Characteristics of Hijiori eruptive stages.

Stage	proximal 火砕物密度流		distal 降下火砕物		Essential material	Type of Eruption
	Lithology	Volume [km ³]	Lithology	Volume [km ³]		
4-3	massive poorly sorted silty ash with lapilli	?	not found	?	not found	phreatic
4-2	massive poorly sorted ash with well vesiculated pumice	?	massive poorly sorted ash with well vesiculated pumice	0.21	well vesiculated pumice	phreato-magmatic
4-1[a-e]	well sorted angular lapilli (5 cycles)	?	trace or not found	0.02	not found	phreatic
3-3b	massive poorly sorted sandy ash with lapilli and pumices	0.3	sorted lapilli fall	0.08	vesiculated pumice	plinian
3-3a	massive poorly sorted sandy ash with pumices	0.78	sorted pumice fall	0.21	well vesiculated pumice	plinian
3-2[a-c]	massive poorly sorted sandy ash with pumices	0.26	sorted pumice fall	0.07	well and poorly vesiculated pumice not found (pumices may be rework of stage 2-2)	plinian
3-1	massive poorly sorted sandy ash with lapilli and pumices	?	not found	<< 0.01	not found (pumices may be rework of stage 2-2)	phreatic
2-2	massive poorly sorted sandy ash with hard pumices	0.052	sorted angular hard pumice fall	0.014	poorly vesiculated pumice	plinian
2-1	massive poorly sorted silty and sticky ash with altered lapilli	~ 0 ?	not found	<< 0.001	not found (pumices may be rework of stage 1-1)	phreatic
1	massive poorly sorted sandy ash with lapilli and pumices	0.007	pumice fall (trace amount)	0.002	vesiculated pumice	plinian



約2.02km³

1.399(km³)

0.617(km³)

約0.25(DRE km³)

溶岩密度: 2.5g/cm³
軽石密度 1.0g/cm³

肘折カルデラの噴出量(宮城(2007)に加筆)

概要の表及び噴出量一年代階段ダイアグラムは、宮城(2007)等の文献調査の結果を基に東北電力が独自に作成したものである。

3. 原子力発電所に影響を及ぼし得る火山事象の抽出

3. 1 降下火砕物の影響評価

3. 1. 3 シミュレーション【肘折カルデラ:入力パラメータ②】

- 肘折カルデラの噴出量，噴煙柱高さ及びその他の計算条件については，以下のとおり設定した。

【噴煙柱高度について】

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 ³)	0.0001 ~	0.001 ~	0.01 ~	0.1 ~	1 ~	10 ~	100 ~	1000~
噴煙柱高度 (km)	0.1~1	1~5	3~15	10~25	>25			

小噴火 中噴火 大噴火 巨大噴火 破局的噴火

爆発的噴火

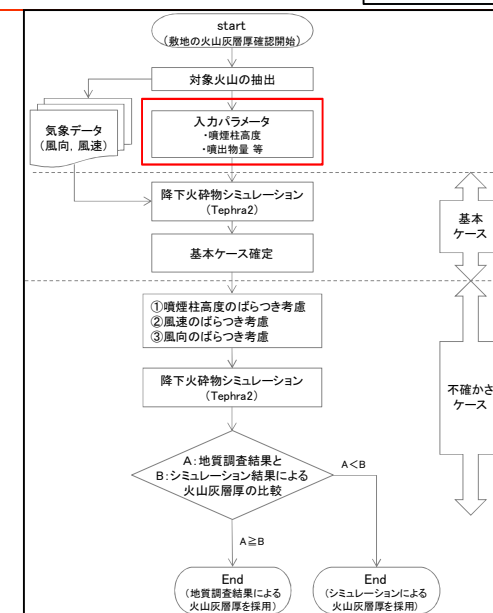
テフロクロノロジーに利用

高頻度 低頻度

※町田・新井(2003)に一部加筆

- 町田・新井(2003)によれば，肘折カルデラの噴出物量0.69(DRE km³)に対応する噴煙柱高さは，10~25kmである。
- 風向の最頻値は高度20km付近で西風から東風に変わる月がある(次頁以降参照)ことから，これらの変化も考慮する。

↓
噴煙柱高度を25kmに設定する。



シミュレーションを用いた降下火砕物の堆積厚さ確認フロー

【その他の計算条件】

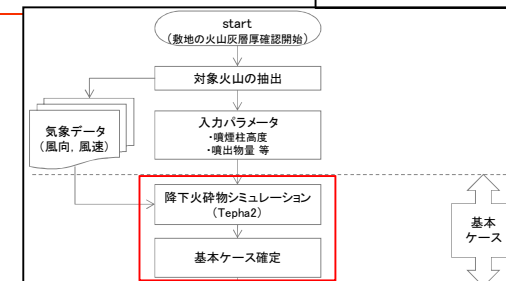
項目	単位	値	設定根拠
噴出標高	m	552	気象庁編(2013)より設定
噴煙柱分割高さ	m	100	萬年(2013)より設定
最大粒径	mm	1/2 ⁻¹⁰	Tephra2 Users Manual(2011)より設定
最小粒径	mm	1/2 ¹⁰	Tephra2 Users Manual(2011)より設定
中央粒径	mm	1/2 ^{4.5}	Tephra2 Users Manual(2011)より設定
粒径標準偏差	mm	1/2 ³	Tephra2 Users Manual(2011)より設定
岩片密度	kg/m ³	2,600	Tephra2 Users Manual(2011)より設定
軽石粒子密度	kg/m ³	1,000	Tephra2 Users Manual(2011)より設定
渦拡散係数	m ² /s	0.04	Suzuki(1983)より設定
拡散係数	m ² /s	300	萬年(2013)より設定
落下時間閾値	s	3600	Bonadonna et al.,(2005)より設定

3. 原子力発電所に影響を及ぼし得る火山事象の抽出

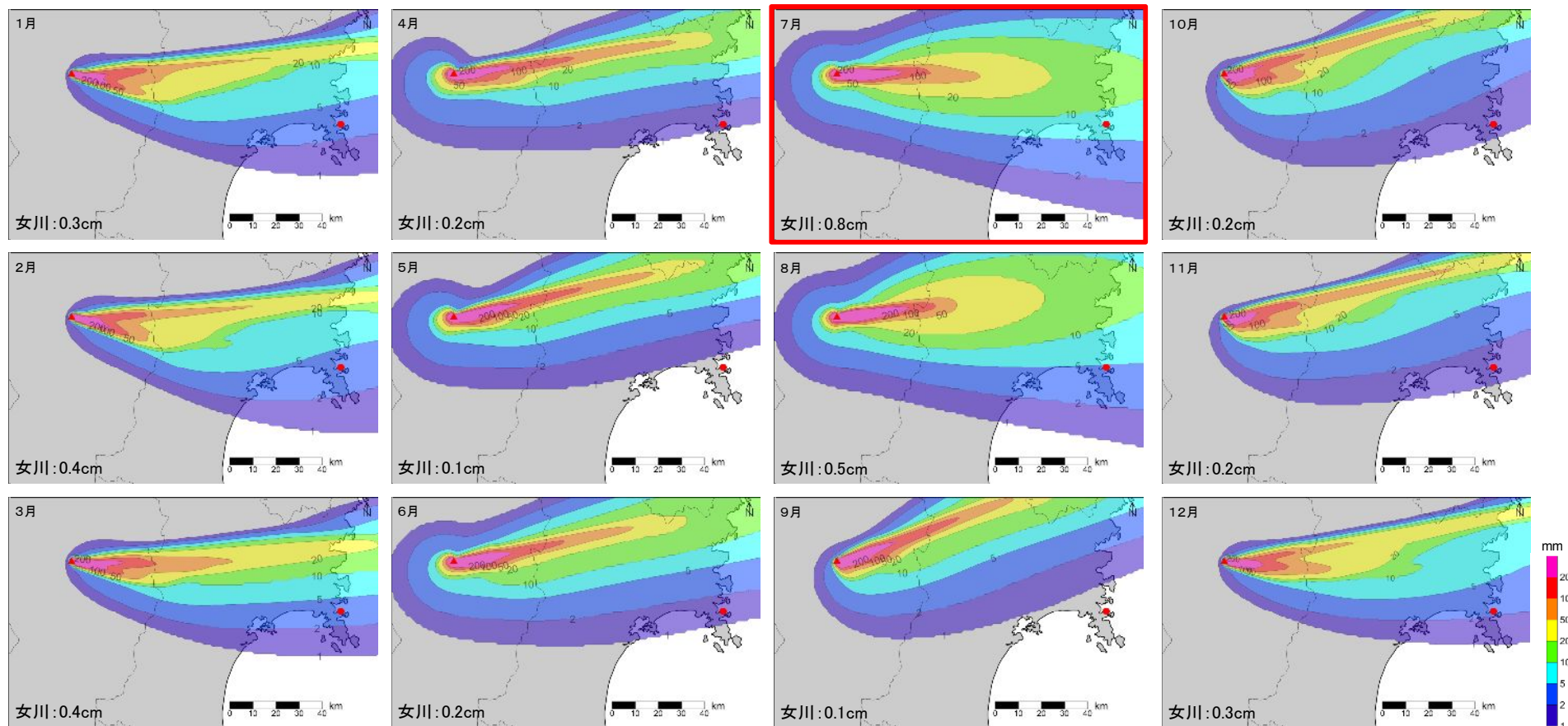
3.1 降下火砕物の影響評価

3.1.3 シミュレーション【肘折カルデラ:基本ケース結果】

- ▶ 肘折カルデラ(肘折-尾花沢)を対象とした降下火砕物のシミュレーションを実施した結果、敷地における火山灰の層厚は0.1~0.8cmであった。



シミュレーションを用いた降下火砕物の堆積厚さ確認フロー(抜粋)

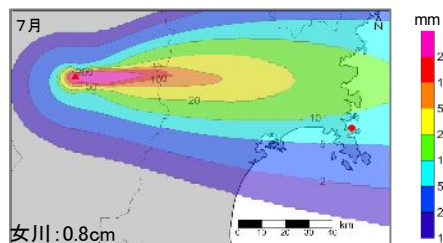


3. 原子力発電所に影響を及ぼし得る火山事象の抽出

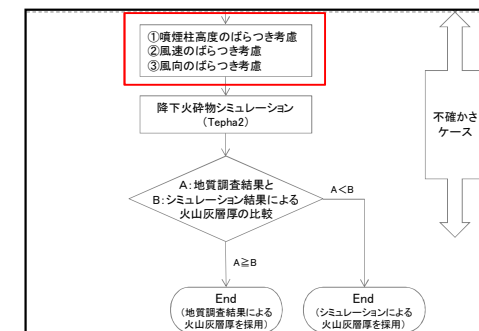
3.1 降下火砕物の影響評価

3.1.3 シミュレーション【肘折カルデラ:不確かさの考慮】

- ▶ 降下火砕物シミュレーションにおける不確かさを考慮する。
- ▶ 7月の気象データを用いたケースが、敷地に最も堆積する結果となったため、このケースを基本として、噴煙柱高さ、風速、風向の不確かさを考慮する。



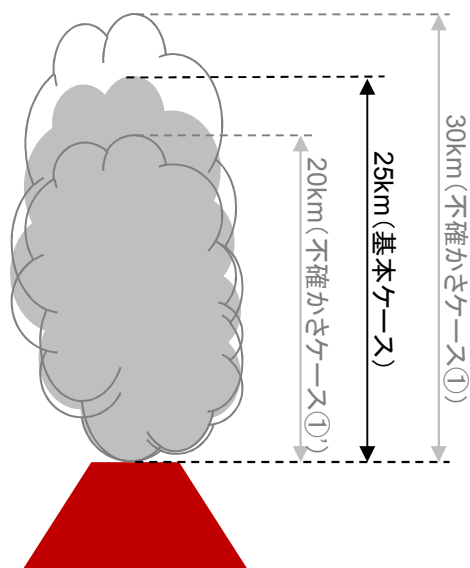
降下火砕物のシミュレーション
における不確かさを考慮



シミュレーションを用いた降下火砕物の堆積厚さ確認フロー(抜粋)

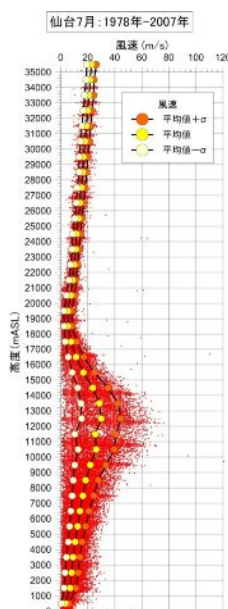
①噴煙柱高さに関する不確かさの考慮

基本ケース(25km)に対して、 $\pm 5\text{km}$ を考慮する。



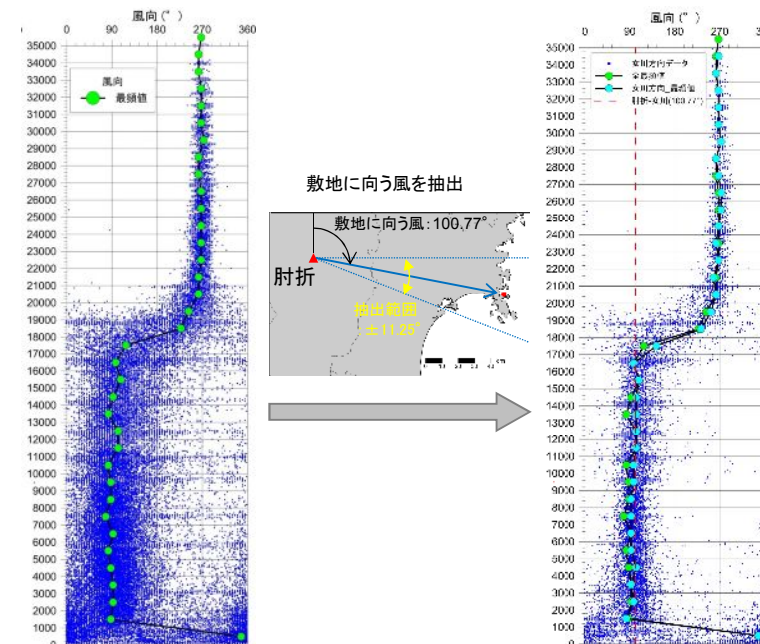
②風速に関する不確かさの考慮

基本ケース(平均風速)に対して、 $\pm\sigma$ (標準偏差)を考慮する。



③風向に関する不確かさの考慮

基本ケース(最頻値)に対して、火山から敷地に向う仮想的な風を考慮する。

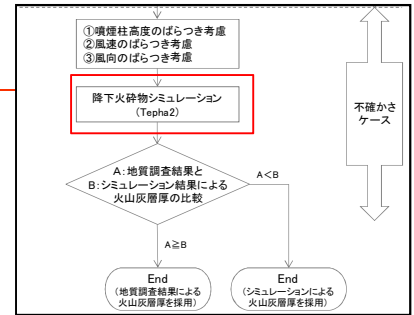


3. 原子力発電所に影響を及ぼし得る火山事象の抽出

3.1 降下火砕物の影響評価

3.1.3 シミュレーション【肘折カルデラ:不確かさケース①】

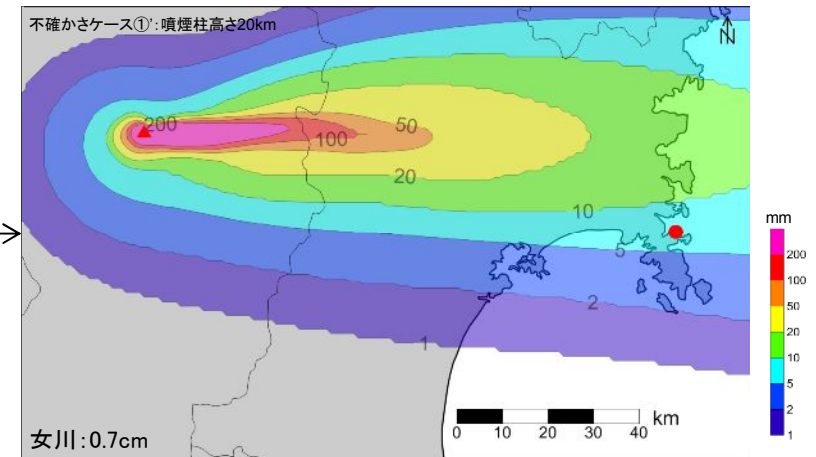
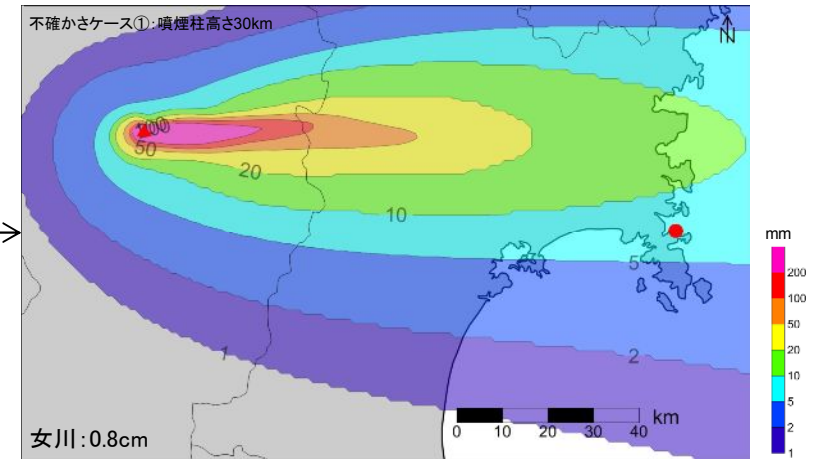
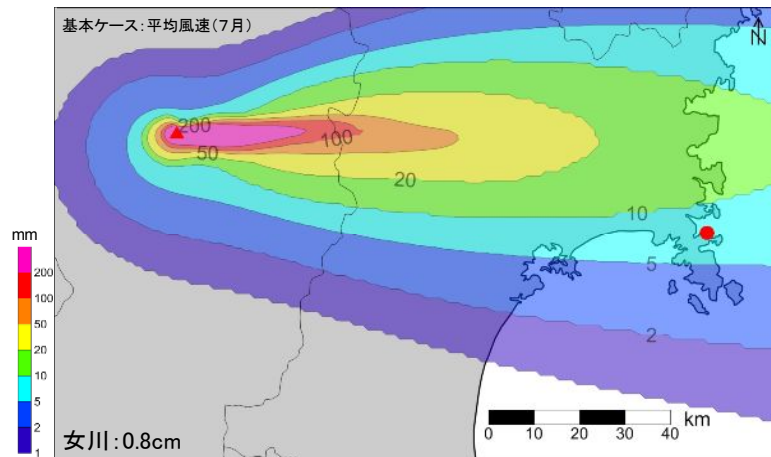
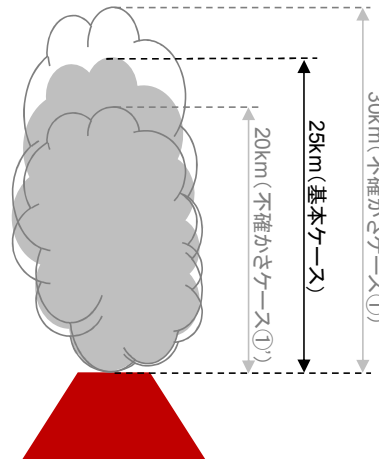
- 噴煙柱高さの不確かさ(±5km)を考慮した結果、最も女川原子力発電所に火山灰が堆積するのは、基本ケースと不確かさケース①であった。



シミュレーションを用いた
降下火砕物の堆積厚さ確認フロー(抜粋)

噴煙柱高さの不確かさを考慮した結果

ケース	噴煙柱高さ	女川の火山灰層厚
基本ケース	25km	0.8cm
不確かさケース①	30km	0.8cm
不確かさケース①'	20km	0.7cm

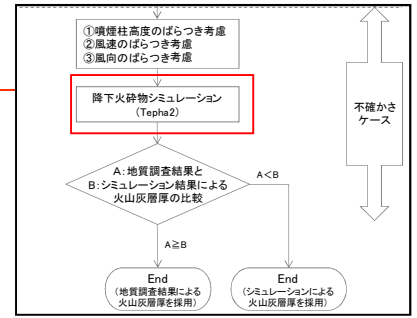


3. 原子力発電所に影響を及ぼし得る火山事象の抽出

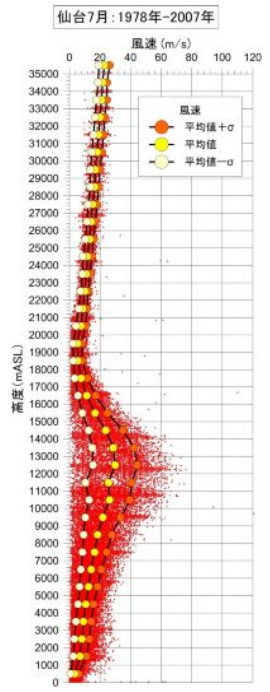
3.1 降下火砕物の影響評価

3.1.3 シミュレーション【肘折カルデラ:不確かさケース②】

➤ 風速の不確かさ(±標準偏差)を考慮した結果、最も女川原子力発電所に火山灰が堆積するのは、基本ケースと不確かさケース②'であった。

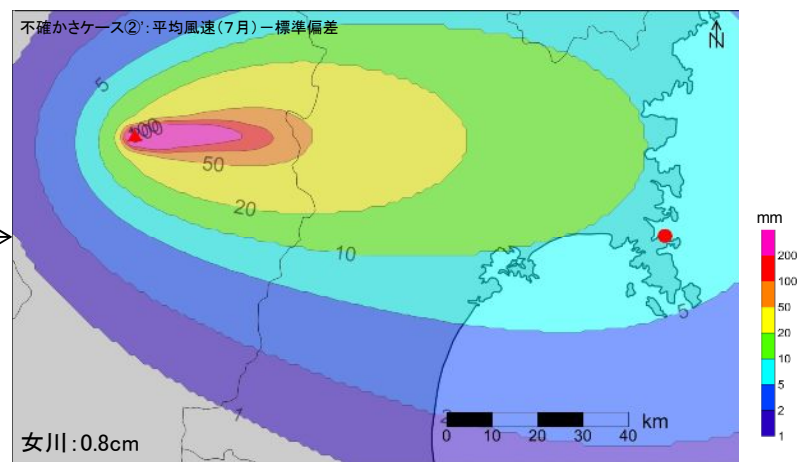
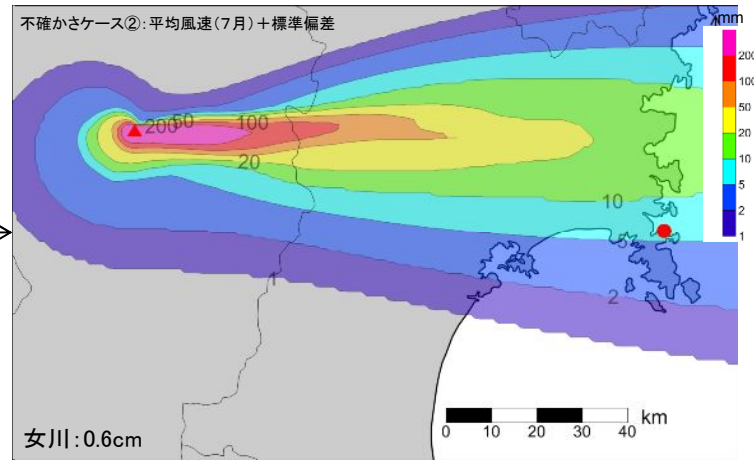
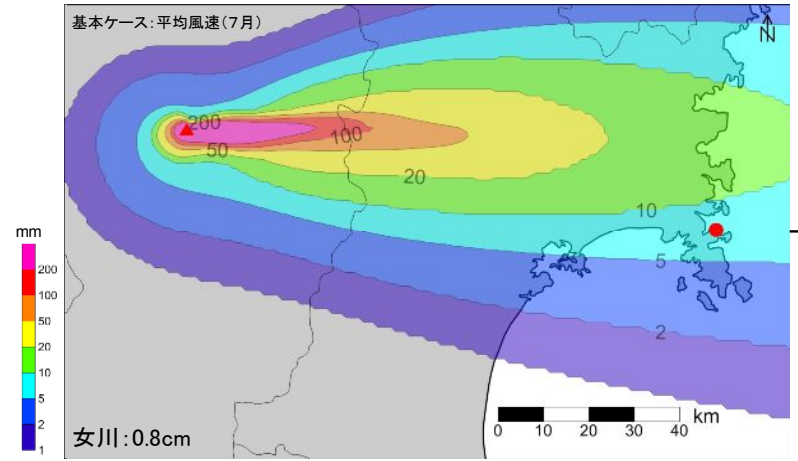


シミュレーションを用いた
降下火砕物の堆積厚さ確認フロー(抜粋)



風速の不確かさを考慮した結果

ケース	風速	女川の火山灰層厚
基本ケース	平均	0.8cm
不確かさケース②	平均+1σ	0.6cm
不確かさケース②'	平均-1σ	0.8cm



3. 原子力発電所に影響を及ぼし得る火山事象の抽出

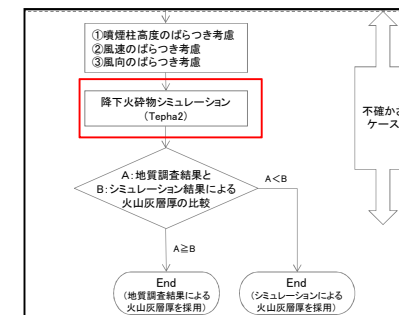
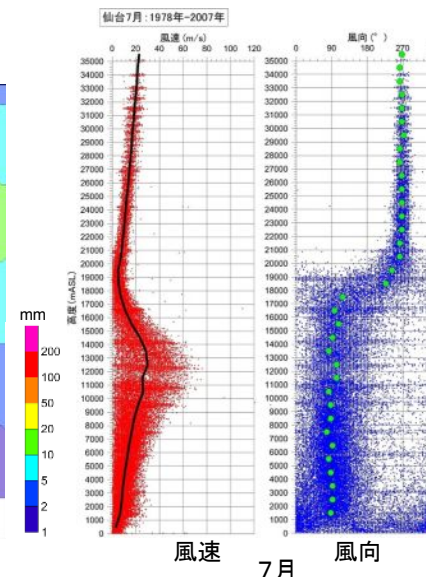
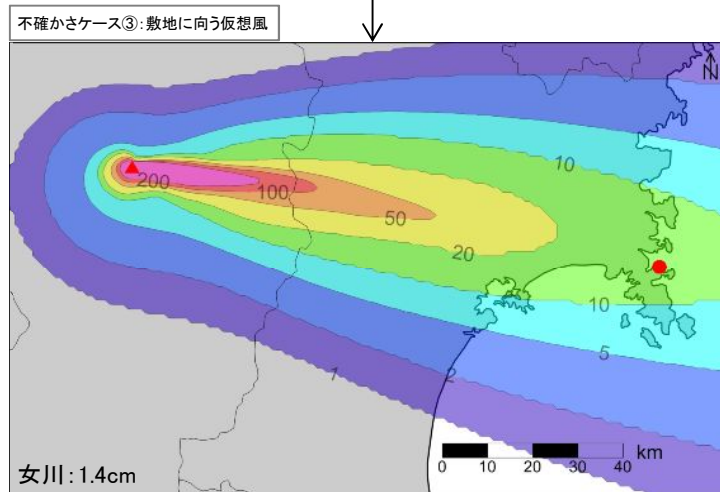
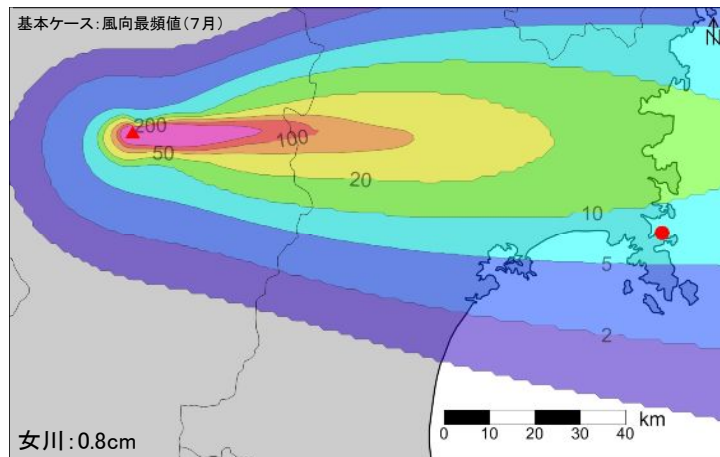
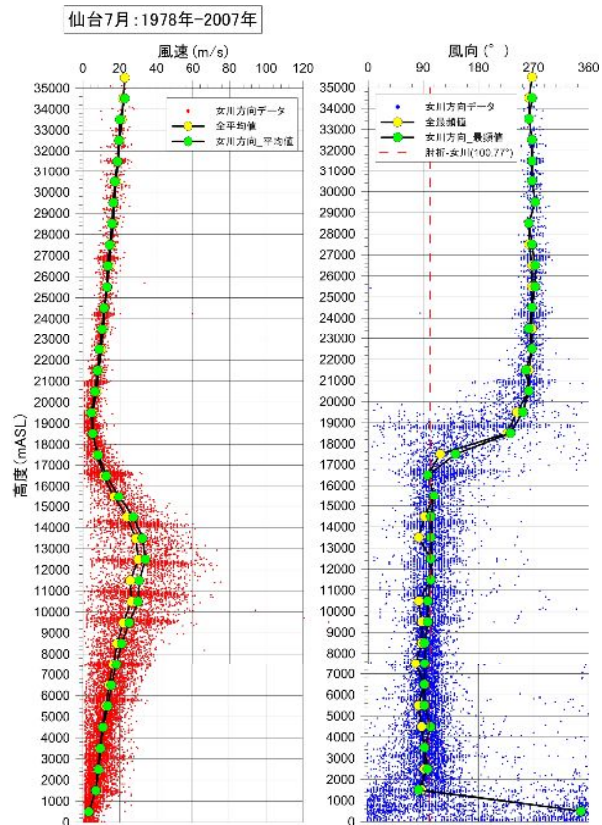
3.1 降下火砕物の影響評価

3.1.3 シミュレーション【肘折カルデラ:不確かさケース③】

- 風向の不確かさ(敷地に向う仮想風)を考慮した結果、最も女川原子力発電所に火山灰が堆積するのは、不確かさを考慮したケースであった。

風向の不確かさを考慮した結果

ケース	風向	女川の火山灰層厚
基本ケース	最頻値	0.8cm
不確かさケース③	敷地に向う仮想風	1.4cm



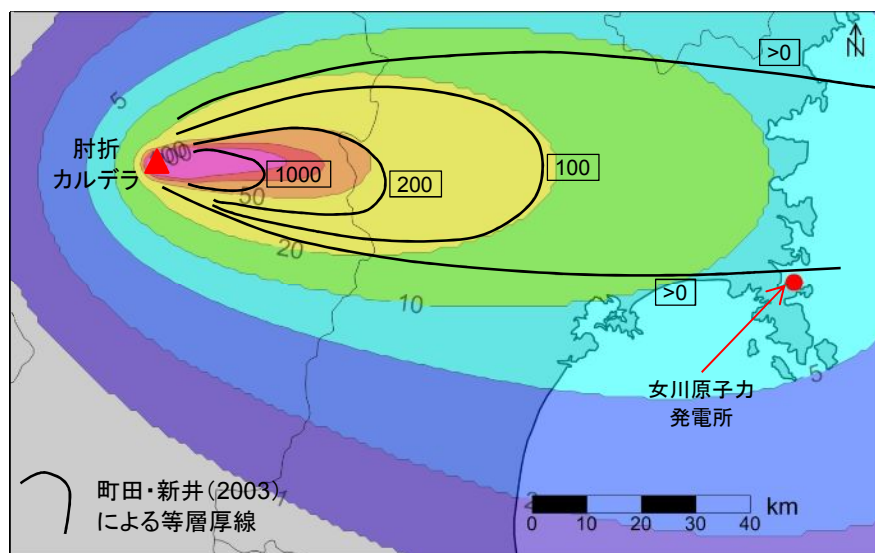
シミュレーションを用いた
降下火砕物の堆積厚さ確認フロー(抜粋)

3. 原子力発電所に影響を及ぼし得る火山事象の抽出

3.1 降下火砕物の影響評価

3.1.3 シミュレーション 【肘折カルデラ:文献で示されている等層厚線との比較】

- 8月の気象データを用いたシミュレーション結果と町田・新井(2003)で示されている等層厚線図の比較を下に示す。
 - ✓ シミュレーション結果と町田・新井(2003)は、ともにほぼ真東に軸を持つような分布を示している。



降灰シミュレーション結果と町田・新井(2003)の等層厚線の比較(8月)

※文献で示されている肘折-尾花沢テフラの露頭層厚との比較については、補足説明資料p49-55に示す。

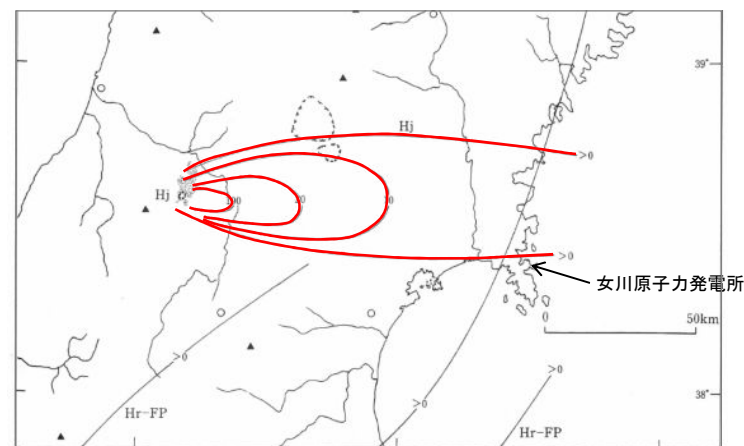
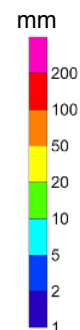


図3.4-2 東北地方の完新世主要テフラの等層厚線図。
To-a 十和田a (pfiの分布も示す)¹⁾²⁾³⁾ Hr-FP 榛名二ツ岳伊香保³⁾ To-Cu 十和田中環³⁾
To-Nb 十和田南³⁾ Hj 肘折尾花沢 (pfiの分布も示す) To:十和田, Hj:肘折。
[1) 町田ほか (1981a), 2) Arai et al. (1986), 3) Hayakawa (1985)]

東北地方の完新世主要テフラの等層厚線図
(町田・新井(2003)に一部加筆)

3. 原子力発電所に影響を及ぼし得る火山事象の抽出

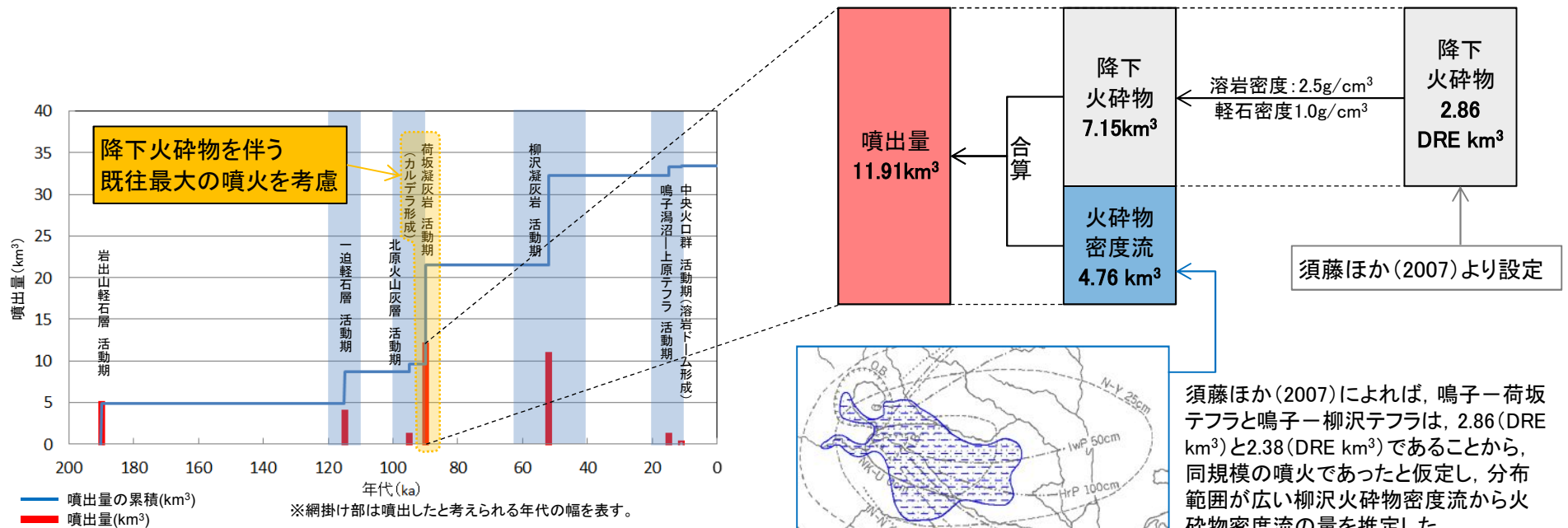
3.1 降下火砕物の影響評価

3.1.3 シミュレーション【鳴子カルデラ:入力パラメータ①】

【噴出量について】

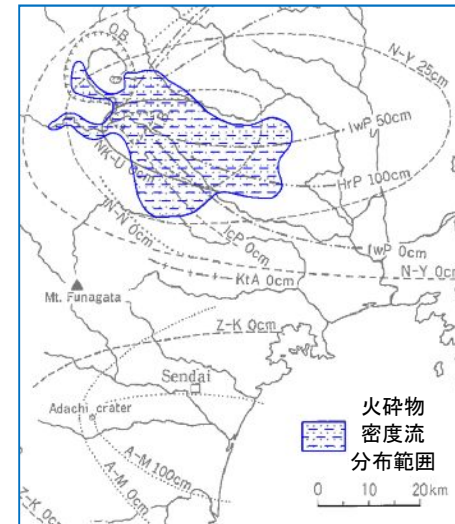
- 鳴子カルデラは約19万年前から現在に至るまで活動しており、降下火砕物を伴う既往最大の噴出量は、カルデラ形成期(約9万年前)に発生している。
- この噴出量のうち降下火砕物は、須藤ほか(2007)によれば、2.86(DRE km³)であると報告されている。

鳴子カルデラの降下火砕物シミュレーションに用いる噴出量を2.86(DRE km³)に設定する。



鳴子カルデラの噴出量一年代階段ダイアグラム

(早田(1989)及び阪口・山田(1988)等の文献調査の結果を基に東北電力が独自に作成したものである。)



早田(1989)に加筆

3. 原子力発電所に影響を及ぼし得る火山事象の抽出

3.1 降下火砕物の影響評価

3.1.3 シミュレーション【鳴子カルデラ:入力パラメータ②】

- 鳴子カルデラの噴煙柱高さ及びその他の計算条件については、以下のとおり設定した。

【噴煙柱高度について】

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 ³)	0.0001 ~	0.001 ~	0.01 ~	0.1 ~	1 ~	10 ~	100 ~	1000~
噴煙柱高度 (km)	0.1~1	1~5	3~15	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 →

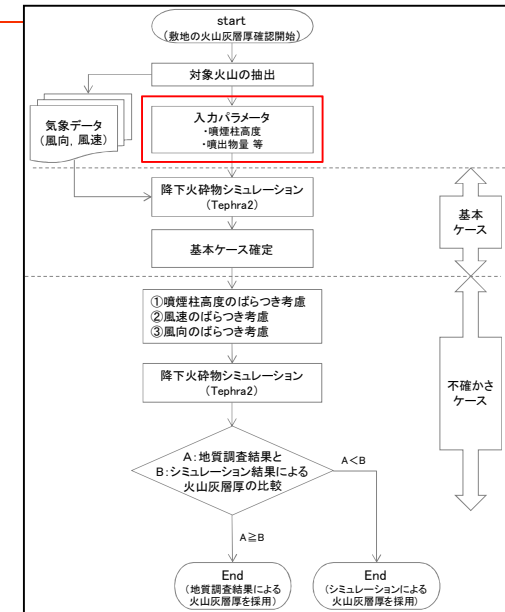
← テフロクロノロジーに利用

← 高頻度 低頻度 →

※町田・新井(2003)に一部加筆

- 町田・新井(2003)によれば、鳴子カルデラの噴出物量2.86(DRE km³)に対応する噴煙柱高さは、25km以下である。

↓
噴煙柱高度を25kmに設定する。



シミュレーションを用いた降下火砕物の堆積厚さ確認フロー

【その他の計算条件】

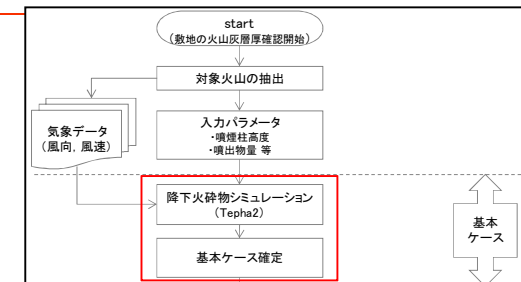
項目	単位	値	設定根拠
噴出標高	m	470	気象庁編(2013)より設定
噴煙柱分割高さ	m	100	萬年(2013)より設定
最大粒径	mm	1/2 ⁻¹⁰	Tephra2 Users Manual(2011)より設定
最小粒径	mm	1/2 ¹⁰	Tephra2 Users Manual(2011)より設定
中央粒径	mm	1/2 ^{4.5}	Tephra2 Users Manual(2011)より設定
粒径標準偏差	mm	1/2 ³	Tephra2 Users Manual(2011)より設定
岩片密度	kg/m ³	2,600	Tephra2 Users Manual(2011)より設定
軽石粒子密度	kg/m ³	1,000	Tephra2 Users Manual(2011)より設定
渦拡散係数	m ² /s	0.04	Suzuki(1983)より設定
拡散係数	m ² /s	300	萬年(2013)より設定
落下時間閾値	s	3600	Bonadonna et al.,(2005)より設定

3. 原子力発電所に影響を及ぼし得る火山事象の抽出

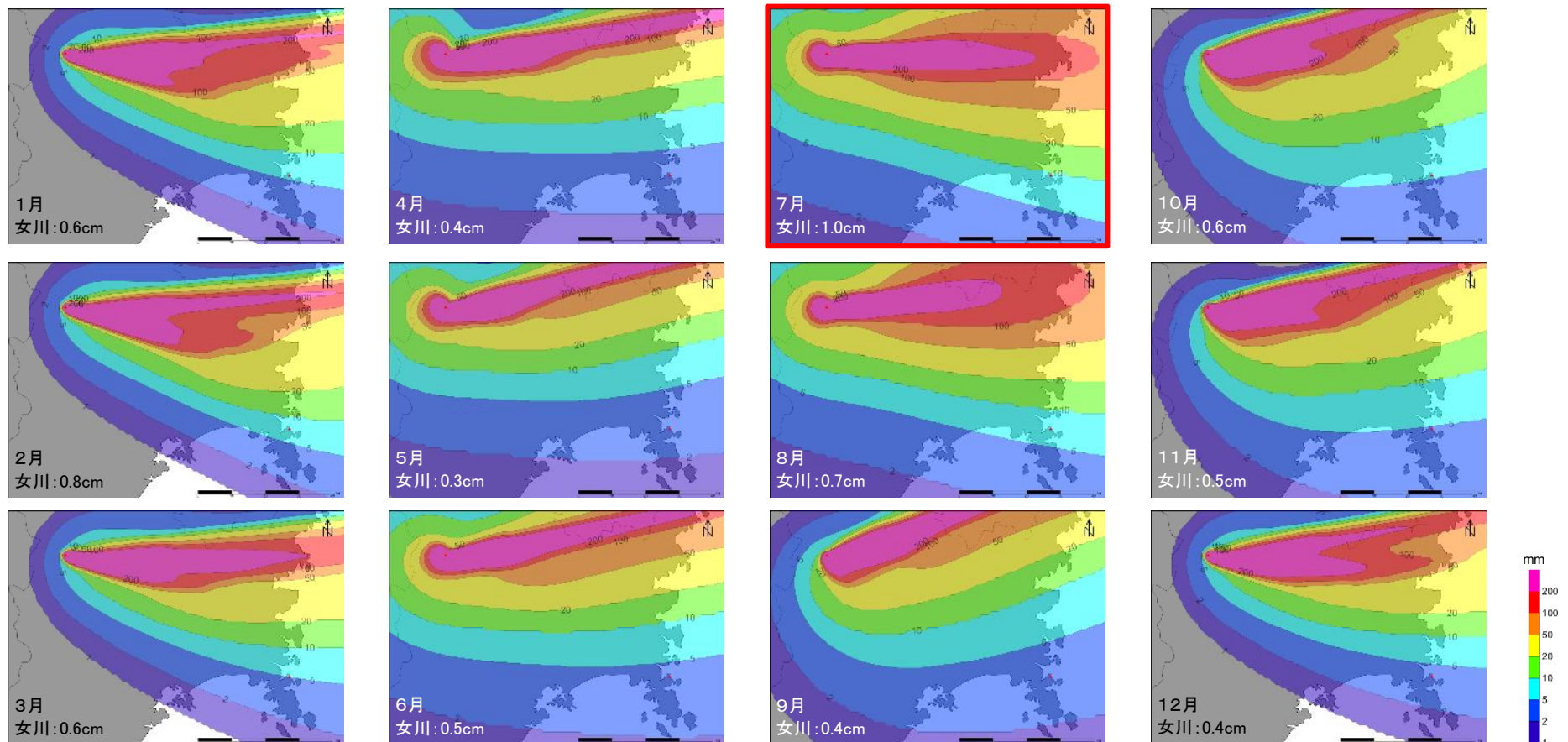
3.1 降下火砕物の影響評価

3.1.3 シミュレーション【鳴子カルデラ:基本ケース結果】

- 鳴子カルデラ(鳴子-荷坂テフラ)を対象とした降下火砕物のシミュレーションを実施した結果、敷地における火山灰の層厚は0.3~1.0cmであった。



シミュレーションを用いた降下火砕物の堆積厚さ確認フロー(抜粋)

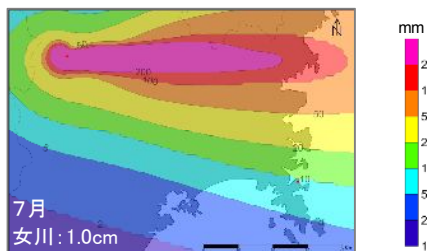


3. 原子力発電所に影響を及ぼし得る火山事象の抽出

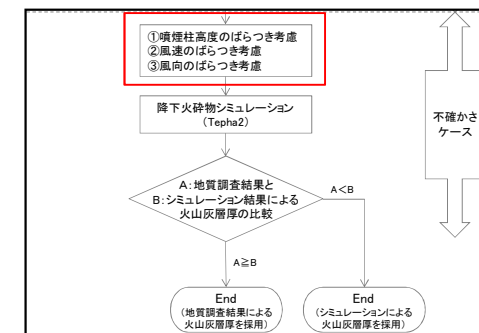
3.1 降下火砕物の影響評価

3.1.3 シミュレーション【鳴子カルデラ:不確かさの考慮】

- ▶ 降下火砕物シミュレーションにおける不確かさを考慮する。
- ▶ 7月の気象データを用いたケースが、敷地に最も堆積する結果となったため、このケースを基本として、噴煙柱高さ、風速、風向の不確かさを考慮する。



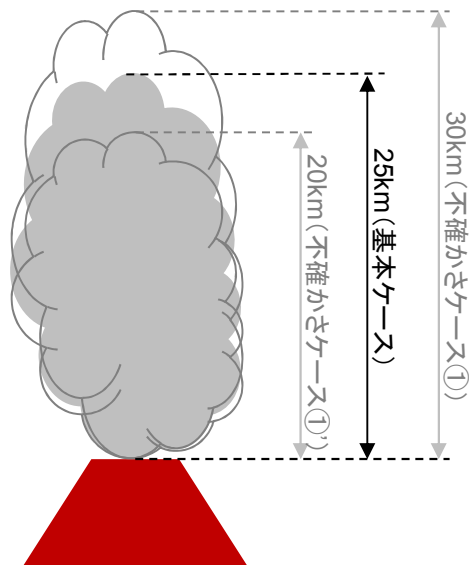
降下火砕物のシミュレーションにおける不確かさを考慮



シミュレーションを用いた降下火砕物の堆積厚さ確認フロー(抜粋)

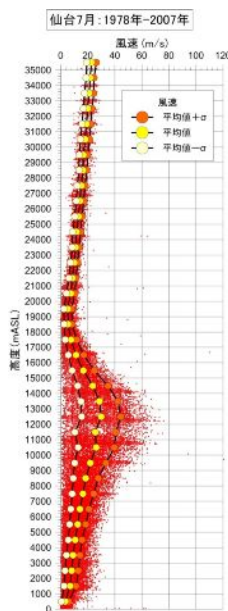
①噴煙柱高さに関する不確かさの考慮

基本ケース(25km)に対して、 $\pm 5\text{km}$ を考慮する。



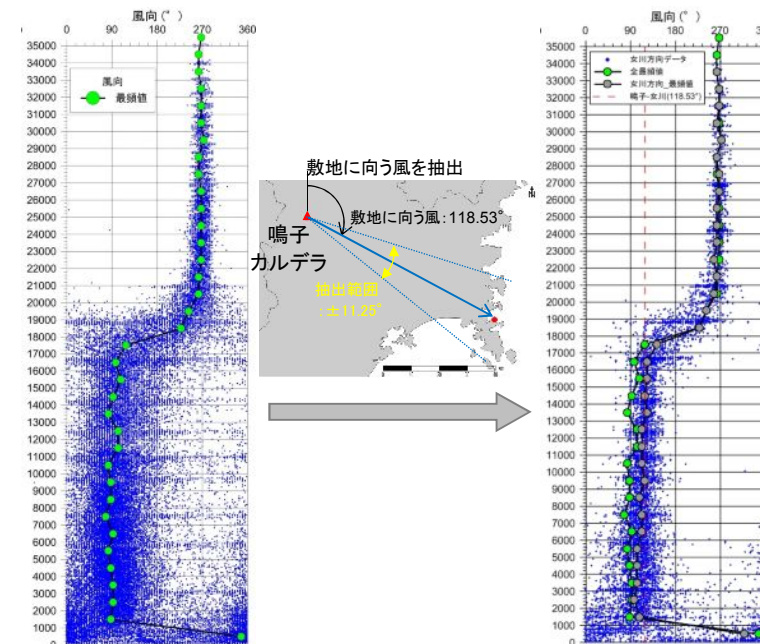
②風速に関する不確かさの考慮

基本ケース(平均風速)に対して、 $\pm\sigma$ (標準偏差)を考慮する。



③風向に関する不確かさの考慮

基本ケース(最頻値)に対して、火山から敷地に向う仮想的な風を考慮する。

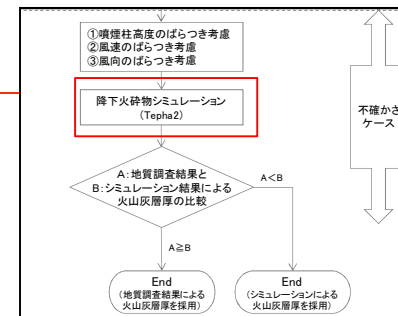


3. 原子力発電所に影響を及ぼし得る火山事象の抽出

3.1 降下火砕物の影響評価

3.1.3 シミュレーション【鳴子カルデラ:不確かさケース①】

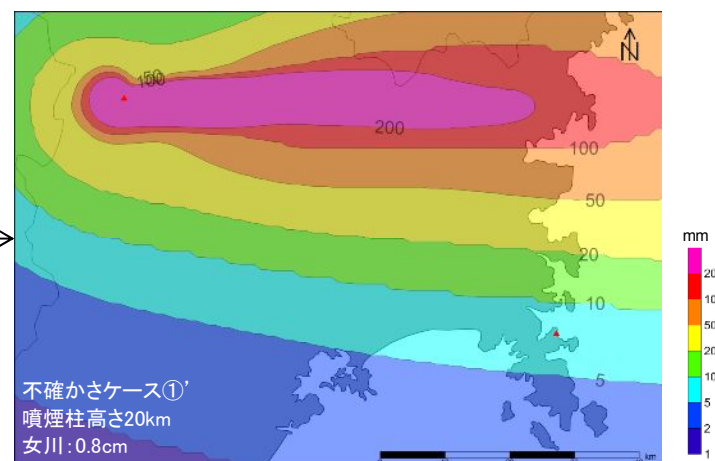
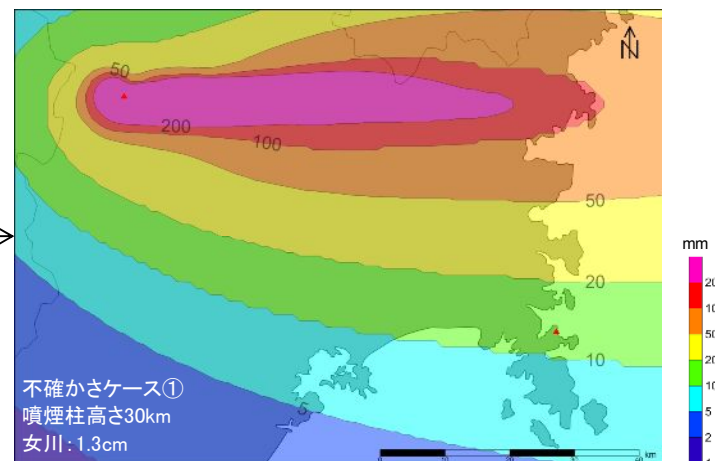
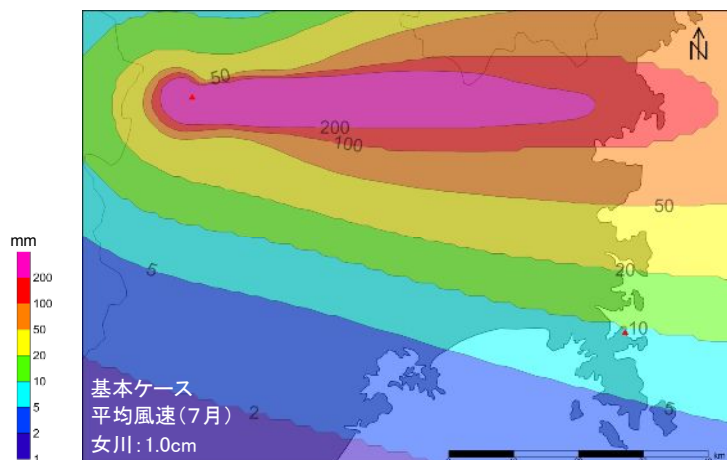
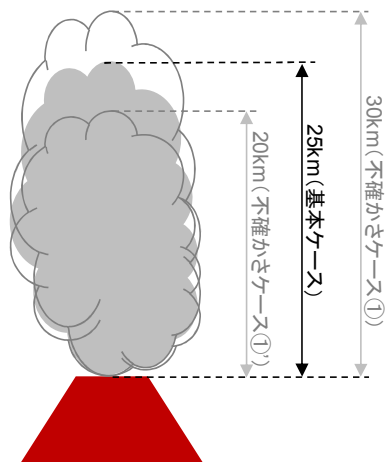
- 噴煙柱高さの不確かさ(±5km)を考慮した結果, 最も敷地に火山灰が堆積するのは, 不確かさケース①であった。



シミュレーションを用いた
降下火砕物の堆積厚さ確認フロー(抜粋)

噴煙柱高さの不確かさを考慮した結果

ケース	噴煙柱高さ	敷地の火山灰層厚
基本ケース	25km	1.0cm
不確かさケース①	30km	1.3cm
不確かさケース①'	20km	0.8cm

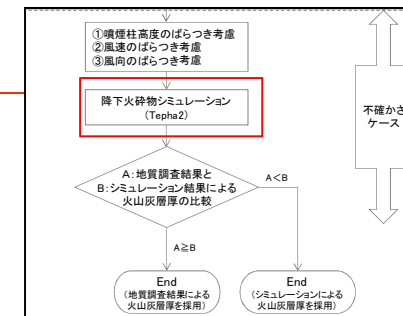


3. 原子力発電所に影響を及ぼし得る火山事象の抽出

3.1 降下火砕物の影響評価

3.1.3 シミュレーション【鳴子カルデラ:不確かさケース②】

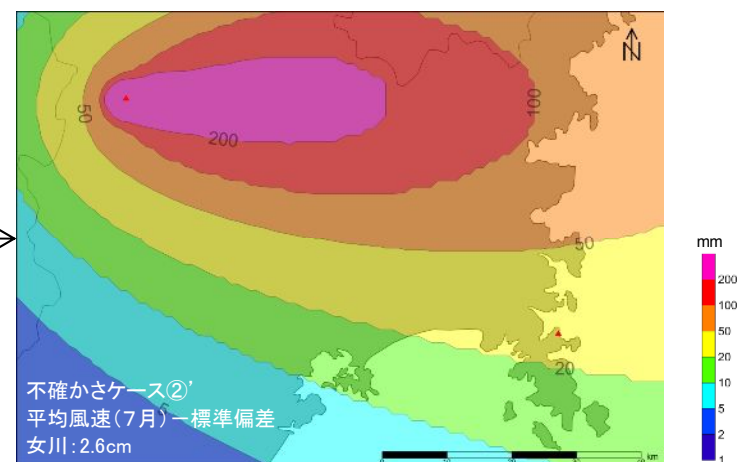
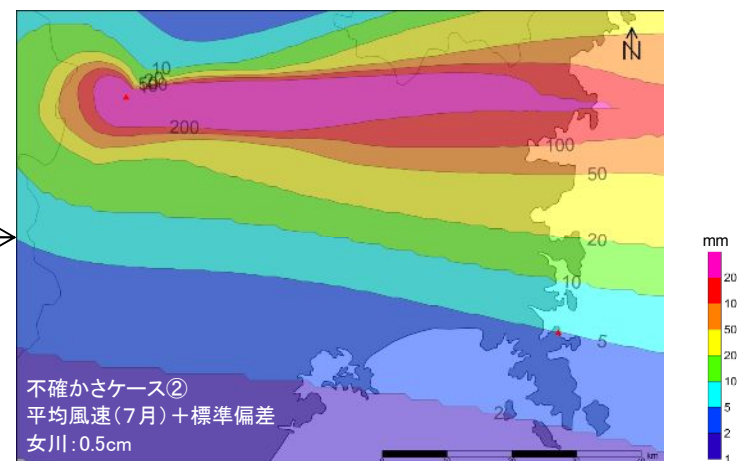
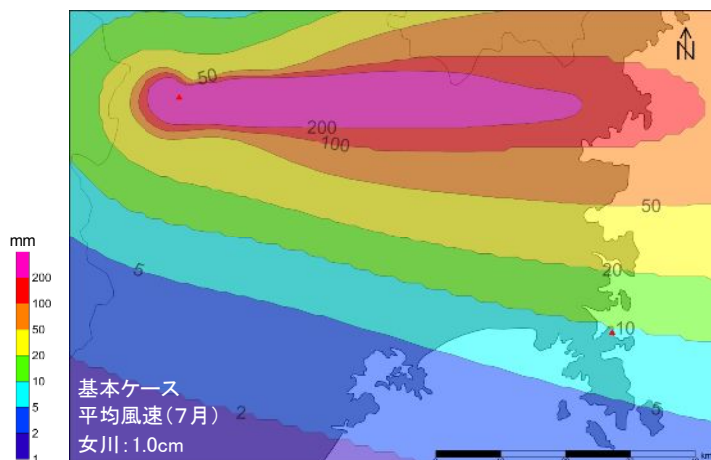
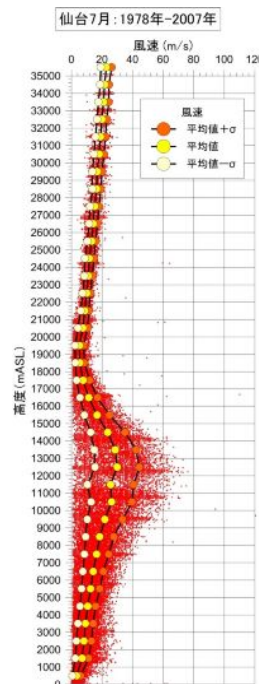
- 風速の不確かさ(±標準偏差)を考慮した結果、最も敷地に火山灰が堆積するのは、不確かさケース②'であった。



シミュレーションを用いた降下火砕物の堆積厚さ確認フロー(抜粋)

風速の不確かさを考慮した結果

ケース	風速	敷地の火山灰層厚
基本ケース	平均	1.0cm
不確かさケース②	平均+1σ	0.5cm
不確かさケース②'	平均-1σ	2.6cm



3. 原子力発電所に影響を及ぼし得る火山事象の抽出

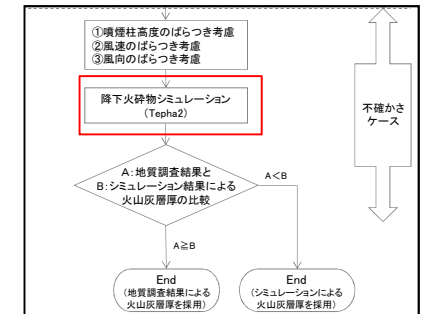
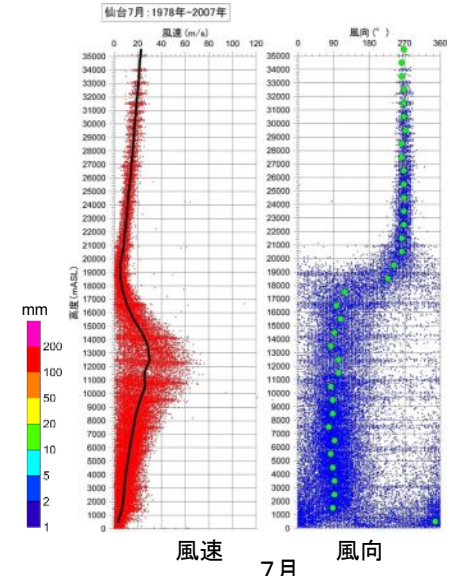
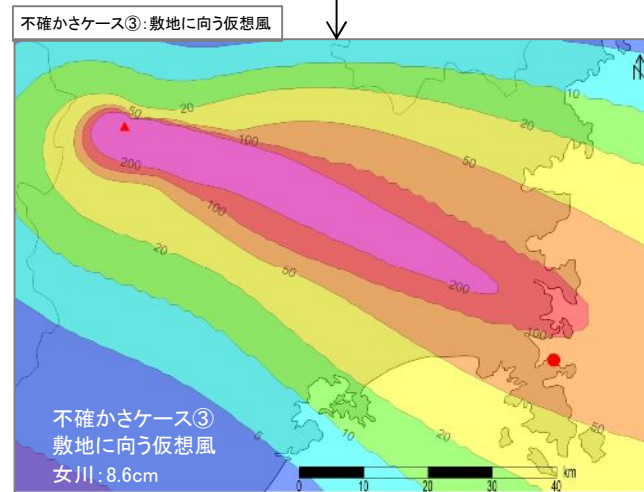
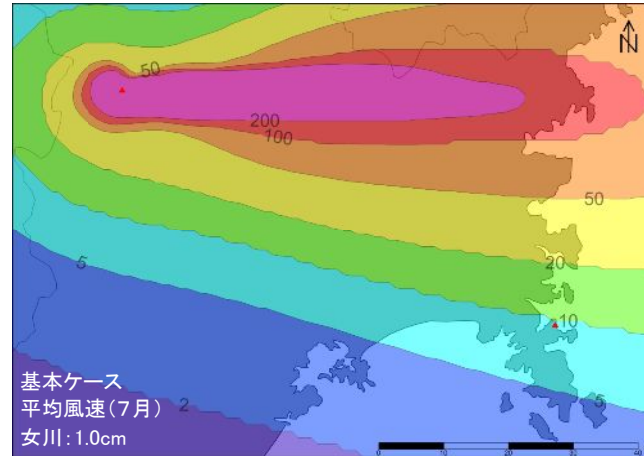
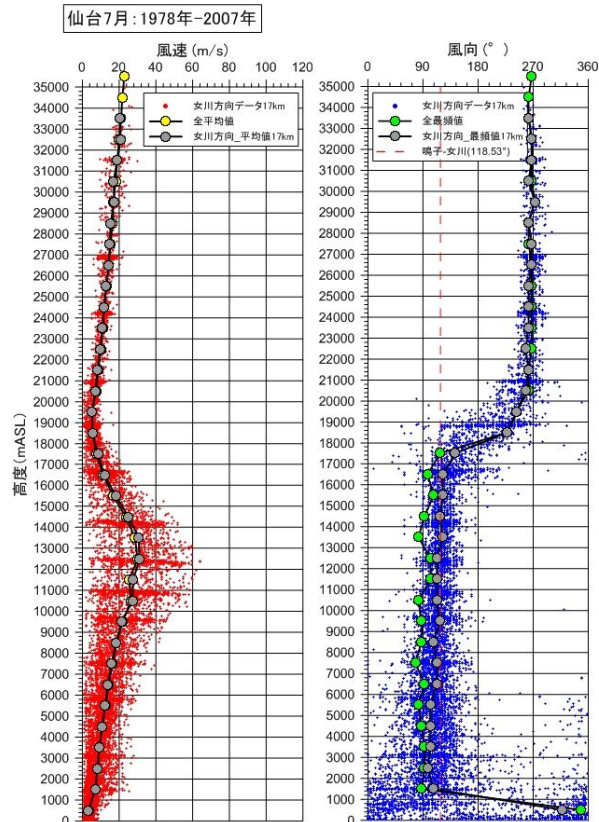
3. 1 降下火砕物の影響評価

3. 1. 3 シミュレーション 【鳴子カルデラ:不確かさケース③】

- 風向の不確かさ(敷地に向う仮想風)を考慮した結果、最も敷地に火山灰が堆積するのは、不確かさを考慮したケースであった。

風向の不確かさを考慮した結果

ケース	風向	敷地の火山灰層厚
基本ケース	最頻値	1.0cm
不確かさケース③	敷地に向う仮想風	8.6cm



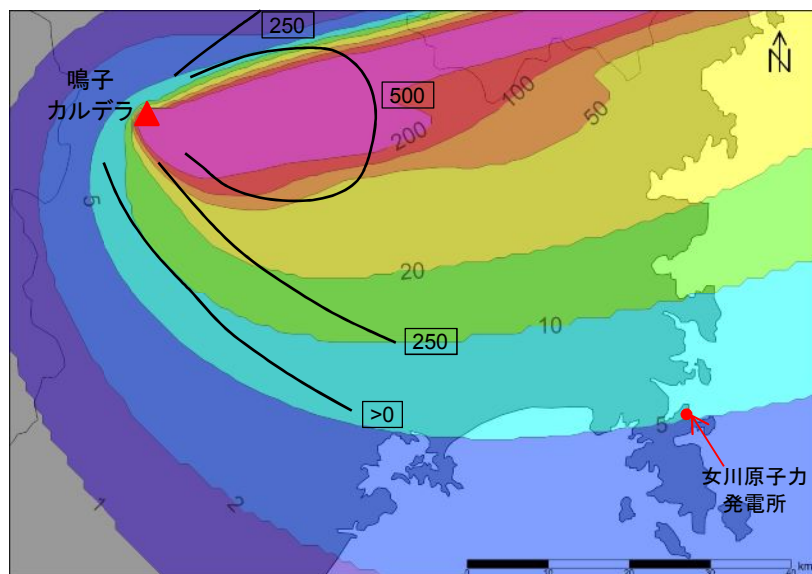
シミュレーションを用いた
降下火砕物の堆積厚さ確認フロー(抜粋)

3. 原子力発電所に影響を及ぼし得る火山事象の抽出

3.1 降下火砕物の影響評価

3.1.3 シミュレーション 【鳴子カルデラ:文献で示されている等層厚線との比較】

- 10月の気象データを用いたシミュレーション結果と町田・新井(2003)で示されている等層厚線図の比較を下に示す。
 - ✓ シミュレーション結果で層厚200mm以上となった範囲は、町田・新井(2003)では層厚500mm以上として示されており、層厚200mm以上の分布範囲は遠方まで及んでいる。



降灰シミュレーション結果と文献で示されている層厚の比較(10月)

※文献で示されている鳴子-荷坂テフラの露頭層厚との比較については、補足説明資料p56-62に示す。

mm
200
100
50
20
10
5
2
1

町田・新井(2003)
による等層厚線

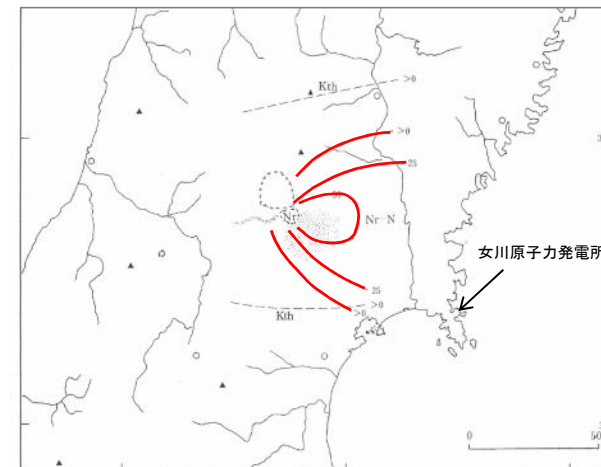


図3.4-4 東北地方の後期更新世主要テフラの等層厚線図(その2)
To-SP 十和田SP^{1,2)} To-Ok 十和田オクシ^{2,3)} To-QP 十和田QP²⁾ Kw 十和田川口^{3,5)}
Iw-Od 西岩手生田⁶⁾ Iw-Y 西岩手雪浦⁶⁾ Nr-N 鳴子荷坂 (pHの分布も示す)⁶⁾ Kth 北原⁶⁾
To:十和田, Iw:岩手, Nr:鳴子
(1) 大森・中川(1979), 2) 松山・大森(1986), 3) 大上・土井(1978), 4) 早田(1989b), 5) 土井(1990), 6) 土井(1991)

東北地方の後期更新世主要テフラの等層厚線図
(町田・新井(2003)に一部加筆)

3. 原子力発電所に影響を及ぼし得る火山事象の抽出

3.1 降下火砕物の影響評価

3.1.3 シミュレーション【蔵王山:入力パラメータ①】

【噴出量について】

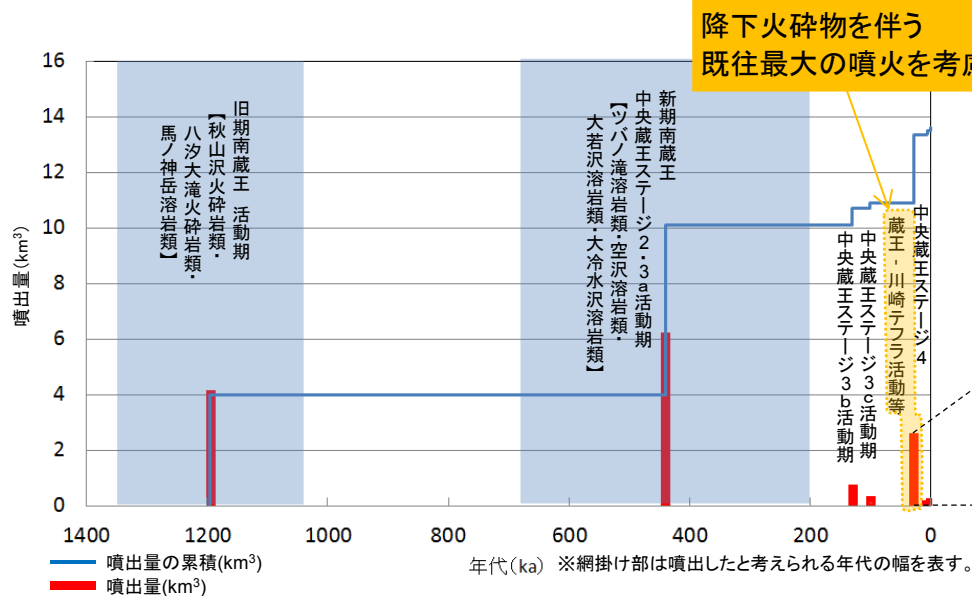
- 蔵王山は約135万年前から現在に至るまで活動しており、降下火砕物を伴う既往最大の噴出は約3万年前に発生している(蔵王-川崎テフラ)。
- この噴出量は、須藤ほか(2007)によれば、0.98(DRE km³)であると報告されている。



蔵王山の降下火砕物シミュレーションに用いる噴出量を0.98(DRE km³)に設定する。

蔵王山の概要

火山名	蔵王山
敷地からの距離	約97km
火山の形式/タイプ	複成火山, 火口丘/溶岩・火砕岩タイプ
活動年代	約135万年前～AD1940年
概要	蔵王山(熊野岳:標高1840m)は、山形県と宮城県の県境に位置する火山群の総称である。北蔵王(瀧山), 中央蔵王(熊野岳等), 南蔵王(不忘山等)等に分けられる。玄武岩～安山岩の成層火山で、有史以降も主に御釜を噴出口とする活動が確認されている。
噴出物	<ul style="list-style-type: none"> 最大噴出量は約6.1km³, 南蔵王および中央蔵王ステージ2・3a期(20～68万年前)に噴出。 最新の噴火活動は、少量の降下火砕物を伴った水蒸気噴火で1940年に発生。 火砕物密度流は、7層確認されており、分布範囲は南蔵王周辺に限られている。中央蔵王・北蔵王については確認されていない。



蔵王山の噴出量一年代階段ダイヤグラム

須藤ほか(2007)より設定

3. 原子力発電所に影響を及ぼし得る火山事象の抽出

3.1 降下火砕物の影響評価

3.1.3 シミュレーション【蔵王山:入力パラメータ②】

- 蔵王山の噴煙柱高さ及びその他の計算条件については、以下のとおり設定した。

【噴煙柱高度について】

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 ³)	0.0001 ~	0.001 ~	0.01 ~	0.1 ~	1 ~	10 ~	100 ~	1000~
噴煙柱高度 (km)	0.1~1	1~5	3~15	10~25	>25			

小噴火 中噴火 大噴火 巨大噴火 破局的噴火

爆発的噴火 →

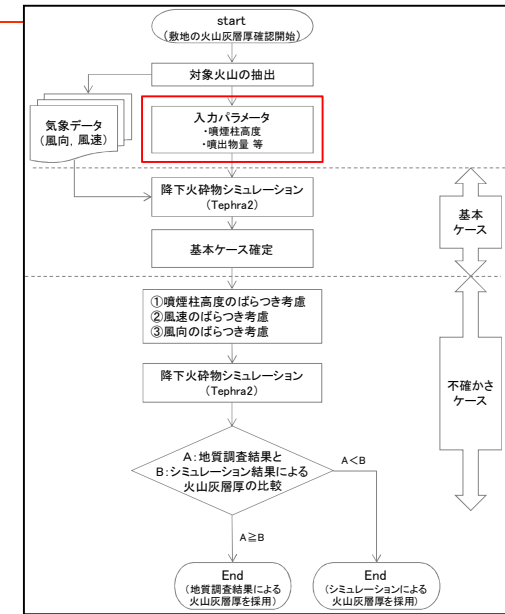
← テフロクロノロジーに利用

← 高頻度 低頻度 →

※町田・新井(2003)に一部加筆

- 町田・新井(2003)によれば、蔵王山の噴出物量0.98(DRE km³)に対応する噴煙柱高さは、10~25kmである。
- 風向の最頻値は高度20km付近で西風から東風に変わる月がある(次頁以降参照)ことから、これらの変化も考慮する。

↓
噴煙柱高度を25kmに設定する。



シミュレーションを用いた降下火砕物の堆積厚さ確認フロー

【その他の計算条件】

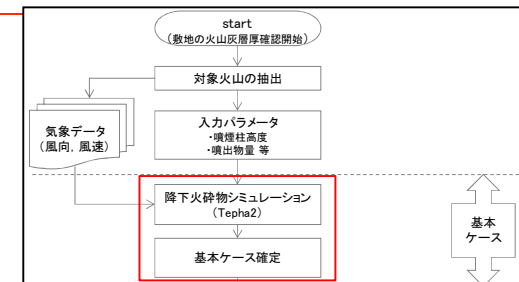
項目	単位	値	設定根拠
噴出標高	m	1,841	気象庁編(2013)より設定
噴煙柱分割高さ	m	100	萬年(2013)より設定
最大粒径	mm	1/2 ⁻¹⁰	Tephra2 Users Manual(2011)より設定
最小粒径	mm	1/2 ¹⁰	Tephra2 Users Manual(2011)より設定
中央粒径	mm	1/2 ^{4.5}	Tephra2 Users Manual(2011)より設定
粒径標準偏差	mm	1/2 ³	Tephra2 Users Manual(2011)より設定
岩片密度	kg/m ³	2,600	Tephra2 Users Manual(2011)より設定
軽石粒子密度	kg/m ³	1,000	Tephra2 Users Manual(2011)より設定
渦拡散係数	m ² /s	0.04	Suzuki(1983)より設定
拡散係数	m ² /s	300	萬年(2013)より設定
落下時間閾値	s	3600	Bonadonna et al.,(2005)より設定

3. 原子力発電所に影響を及ぼし得る火山事象の抽出

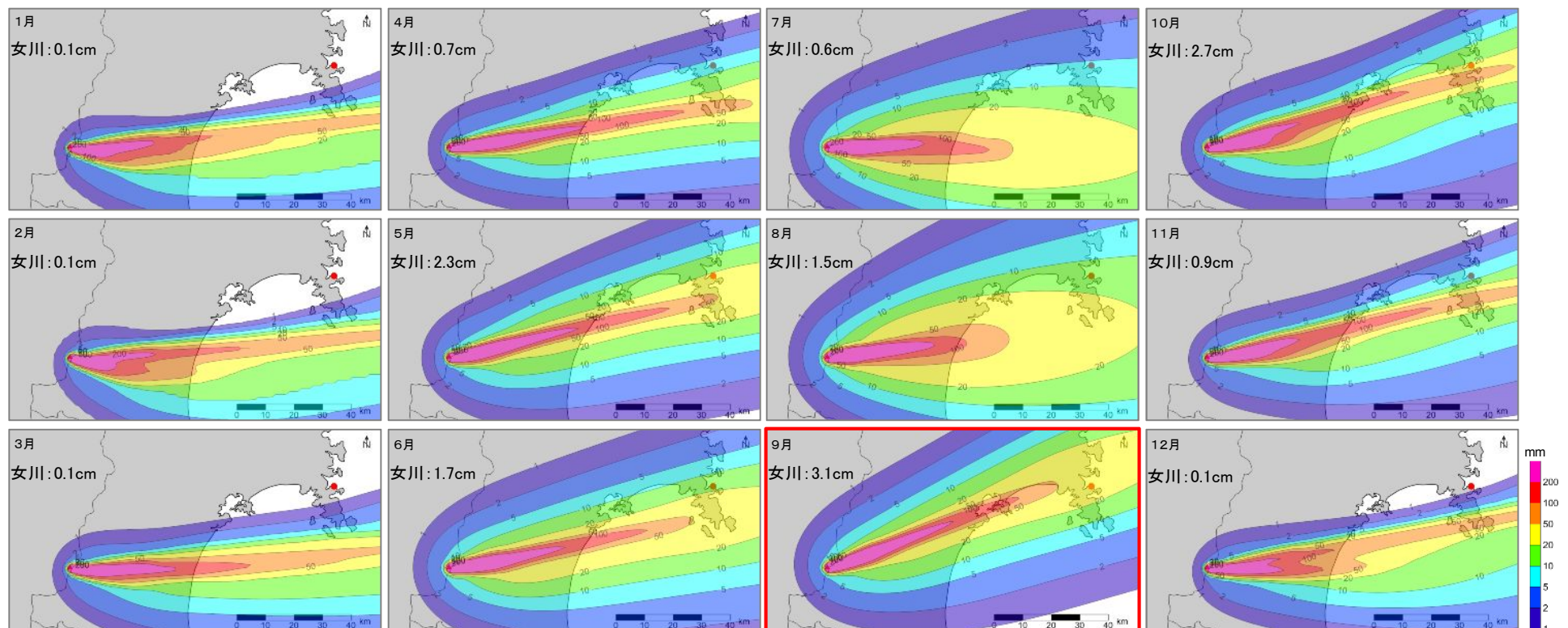
3.1 降下火砕物の影響評価

3.1.3 シミュレーション【蔵王山:基本ケース結果】

- 蔵王山(蔵王-川崎テフラ)を対象とした降下火砕物のシミュレーションを実施した結果、敷地における火山灰の層厚は0.1~3.1cmであった。



シミュレーションを用いた降下火砕物の堆積厚さ確認フロー(抜粋)

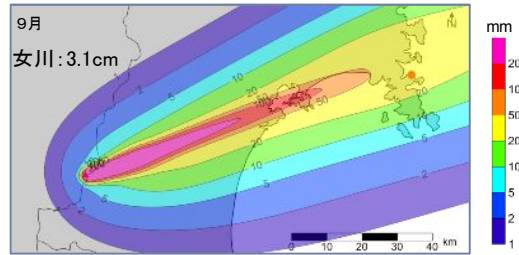


3. 原子力発電所に影響を及ぼし得る火山事象の抽出

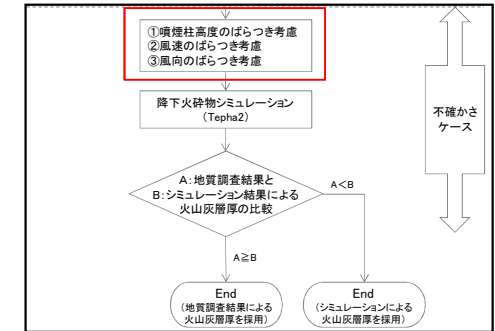
3.1 降下火砕物の影響評価

3.1.3 シミュレーション【蔵王山：不確かさの考慮】

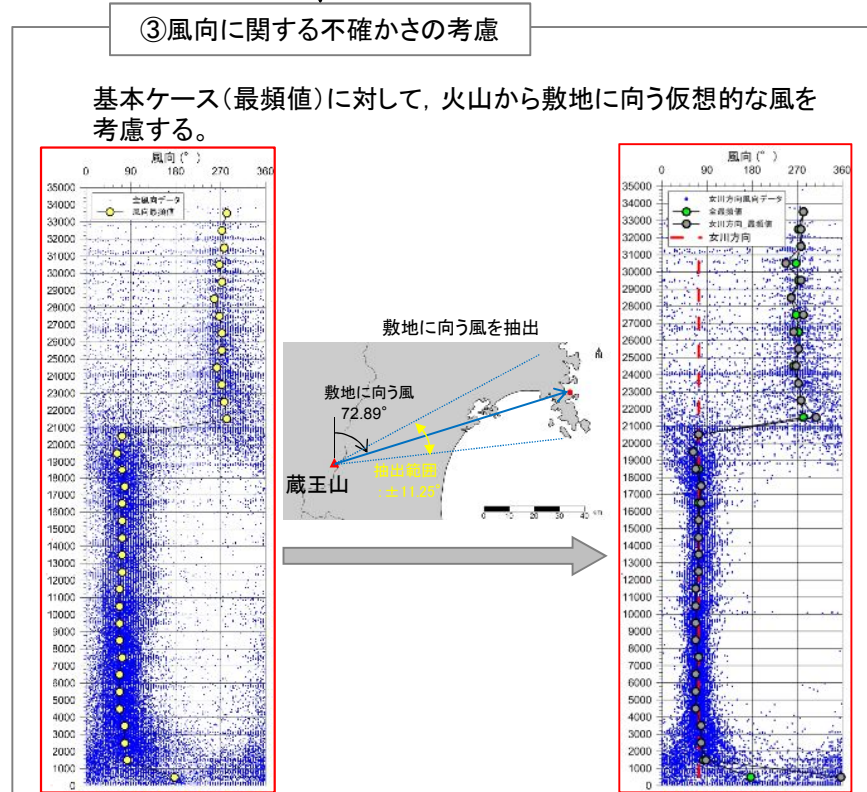
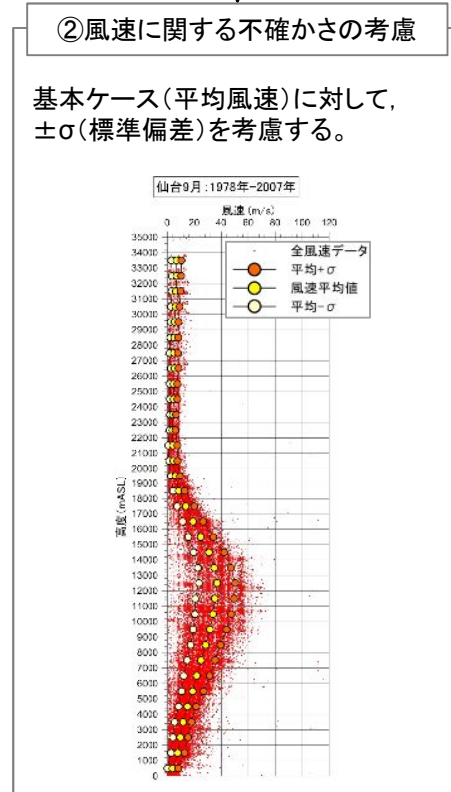
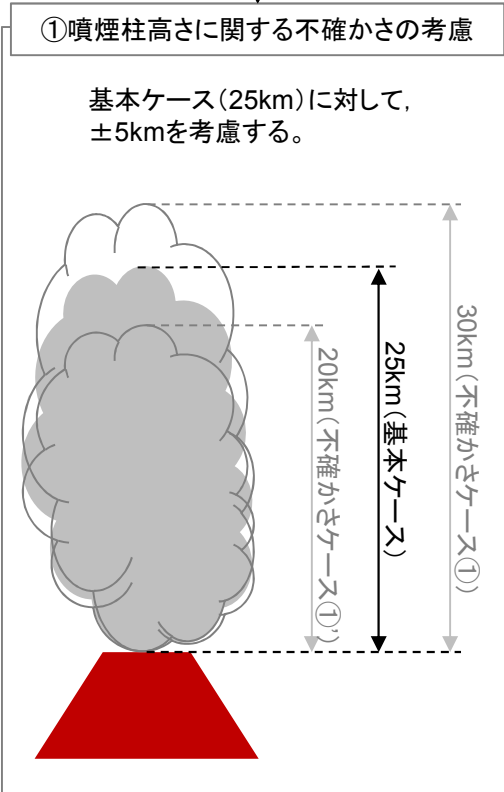
- ▶ 降下火砕物シミュレーションにおける不確かさを考慮する。
- ▶ 9月の気象データを用いたケースが、敷地に最も堆積する結果となったため、このケースを基本として、噴煙柱高さ、風速、風向の不確かさを考慮する。



降下火砕物のシミュレーションにおける不確かさを考慮



シミュレーションを用いた降下火砕物の堆積厚さ確認フロー(抜粋)

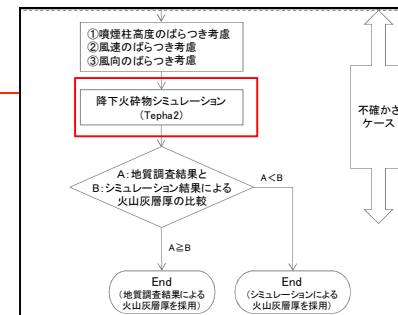


3. 原子力発電所に影響を及ぼし得る火山事象の抽出

3.1 降下火砕物の影響評価

3.1.3 シミュレーション【蔵王山:不確かさケース①】

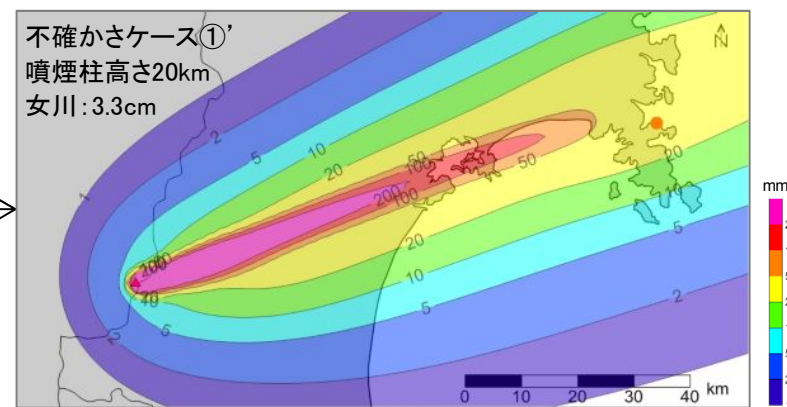
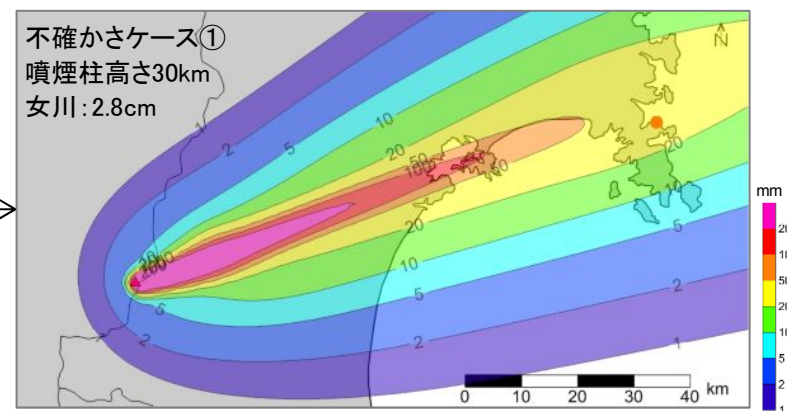
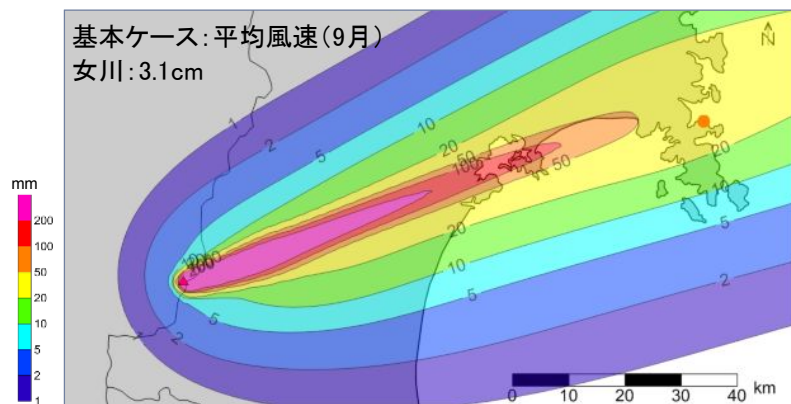
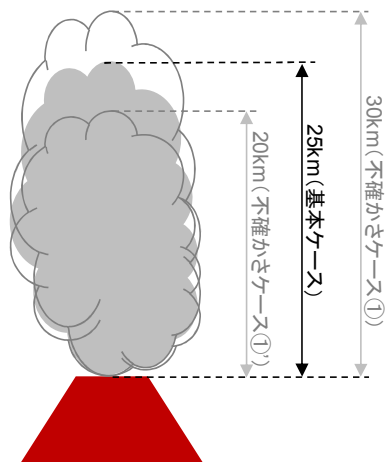
- 噴煙柱高さの不確かさ(±5km)を考慮した結果, 最も敷地に火山灰が堆積するのは, 不確かさケース①'であった。



シミュレーションを用いた
降下火砕物の堆積厚さ確認フロー(抜粋)

噴煙柱高さの不確かさを考慮した結果

ケース	噴煙柱高さ	敷地川の火山灰層厚
基本ケース	25km	3.1cm
不確かさケース①	30km	2.8cm
不確かさケース①'	20km	3.3cm



3. 原子力発電所に影響を及ぼし得る火山事象の抽出

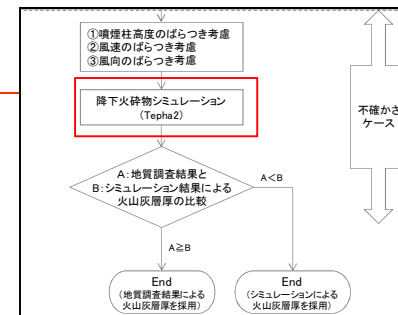
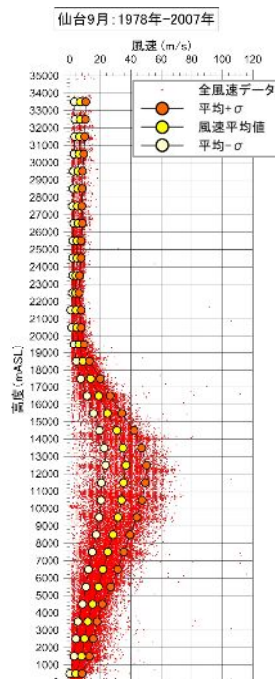
3.1 降下火砕物の影響評価

3.1.3 シミュレーション【蔵王山：不確かさケース②】

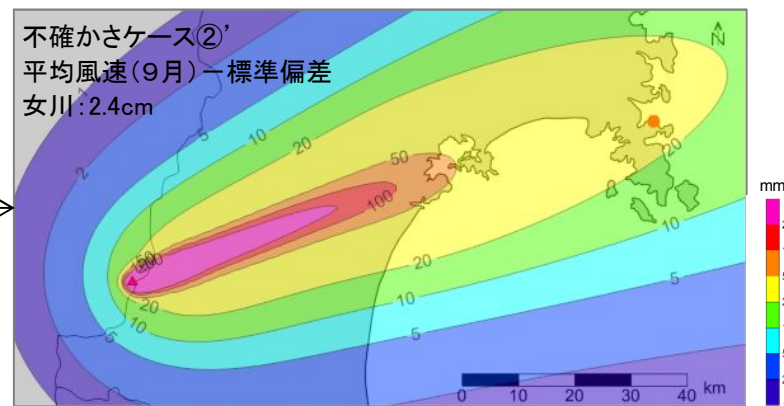
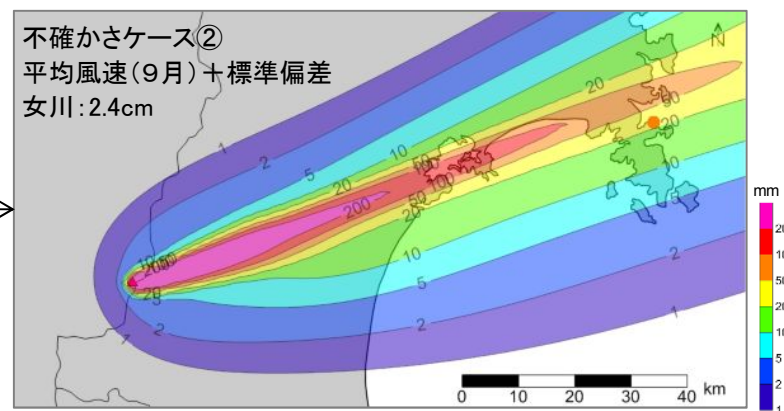
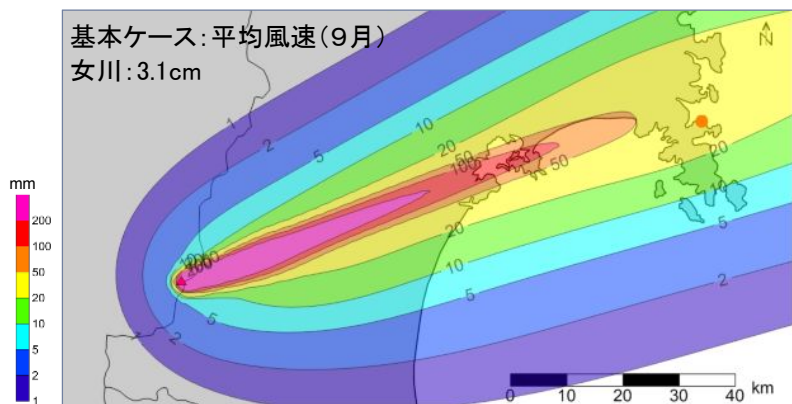
➤ 風速の不確かさ(±標準偏差)を考慮した結果、最も敷地に火山灰が堆積するのは、基本ケースであった。

風速の不確かさを考慮した結果

ケース	風速	敷地の火山灰層厚
基本ケース	平均	3.1cm
不確かさケース②	平均+1σ	2.4cm
不確かさケース②'	平均-1σ	2.4cm



シミュレーションを用いた降下火砕物の堆積厚さ確認フロー(抜粋)



3. 原子力発電所に影響を及ぼし得る火山事象の抽出

3. 1 降下火砕物の影響評価

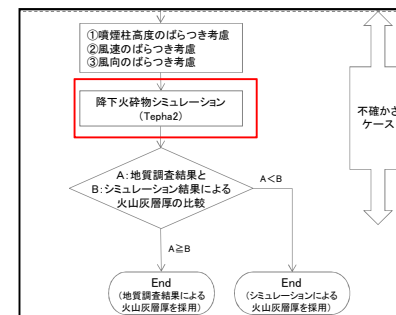
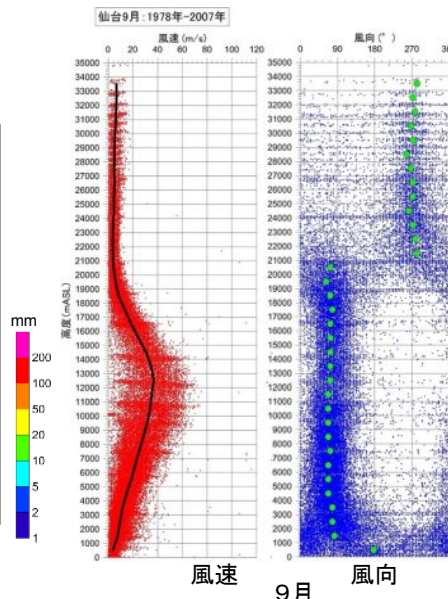
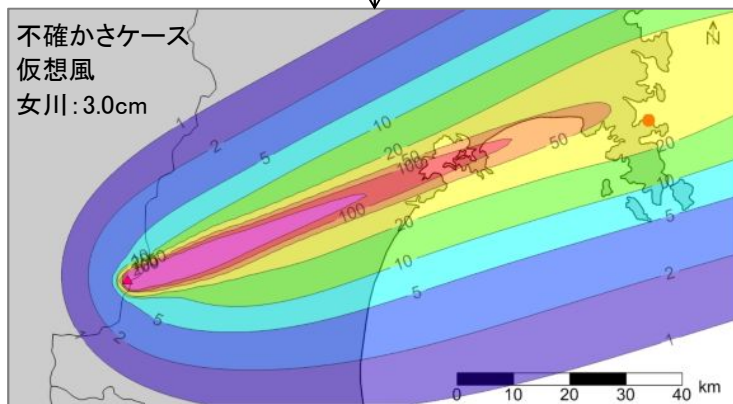
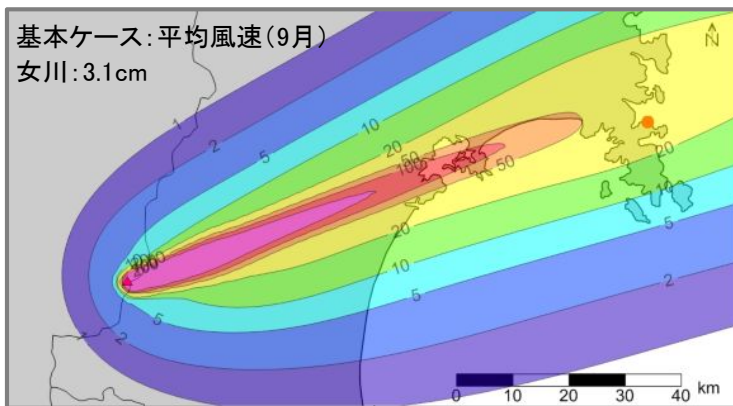
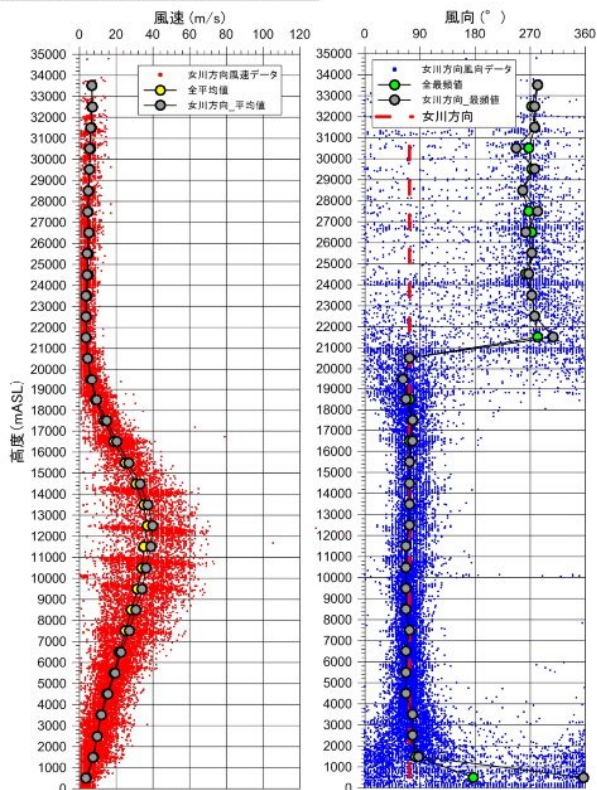
3. 1. 3 シミュレーション 【蔵王山:不確かさケース③】

- 風向の不確かさ(敷地に向う仮想風)を考慮した結果, 敷地に火山灰が堆積するのは, 基本ケースであった。

風向の不確かさを考慮した結果

ケース	風向	敷地の火山灰層厚
基本ケース	最頻値	3.1cm
不確かさケース③	敷地に向う仮想風	3.0cm

仙台9月仮想風(蔵王山):1978年-2007年



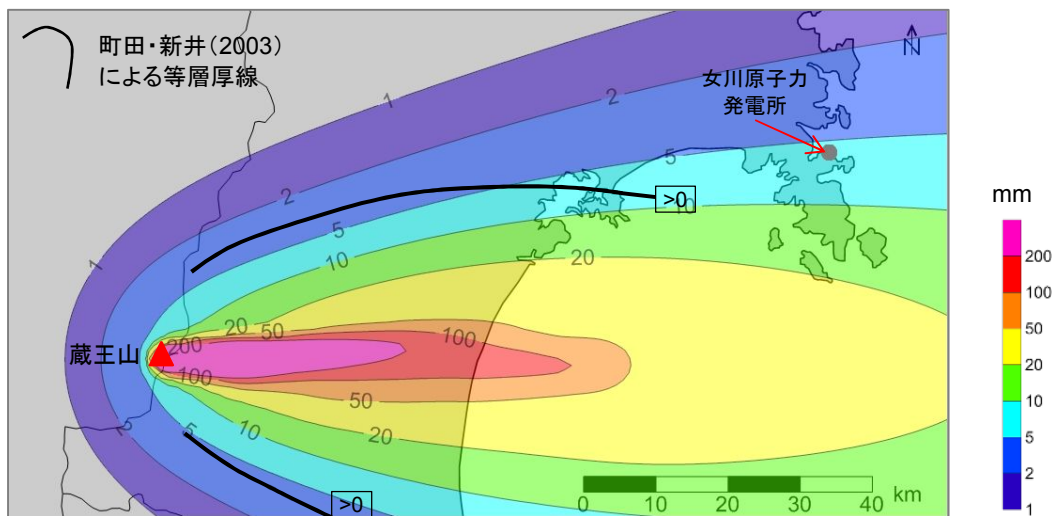
シミュレーションを用いた
降下火砕物の堆積厚さ確認フロー(抜粋)

3. 原子力発電所に影響を及ぼし得る火山事象の抽出

3.1 降下火砕物の影響評価

3.1.3 シミュレーション【蔵王山:文献で示されている等層厚線との比較】

- 7月の気象データを用いたシミュレーション結果と町田・新井(2003)で示されている等層厚線図の比較を下に示す。
 - ✓ シミュレーション結果と町田・新井(2003)は、ともにほぼ真東に軸を持つような分布を示しており、降下範囲は概ね整合的である。



降灰シミュレーション結果と文献で示されている層厚の比較(7月)

※文献で示されている蔵王-川崎テフラの露頭層厚との比較については、補足説明資料p63-69に示す。

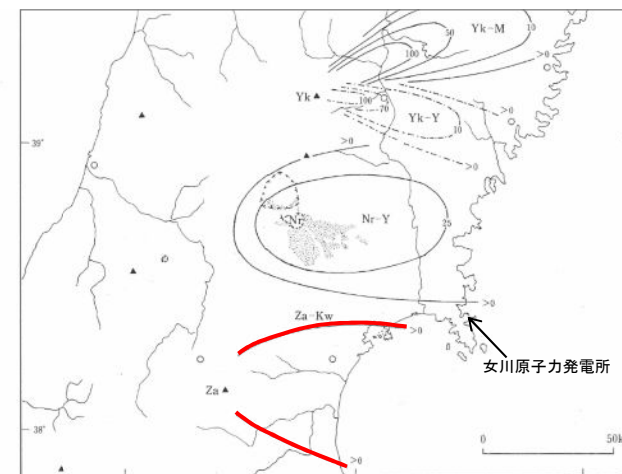


図3.4-3 東北地方の後期更新世主要テフラの等層厚線図(その1)。
 Ak-Y 秋田駒形^{1,7)} Ak-K 秋田駒小岩井¹⁾ Za-Kw 蔵王川崎²⁾ Yk-Y 巖石山形³⁾
 Yk-M 巖石村崎野³⁾ Nr-Y 雫子棚沢⁴⁾ (pHの分布も示す) To-G 十和田合同^{5,6)} To-Rd 十和田レッド^{5,6)}
 To: 十和田, Iw: 岩手, Ak: 秋田, Yk: 徳石, Nr: 雫子, Za: 蔵王。
 [1] 大上・土井(1978), 2) Arai et al.(1996), 3) 大上・吉田(1984), 4) 早田(1989b), 5) 大池・中川(1979), 6) 松山・大池(1990), 7) 土井(1990)。

東北地方の後期更新世主要テフラの等層厚線図
 (町田・新井(2003)に一部加筆)

3. 原子力発電所に影響を及ぼし得る火山事象の抽出

3. 1 降下火砕物の影響評価

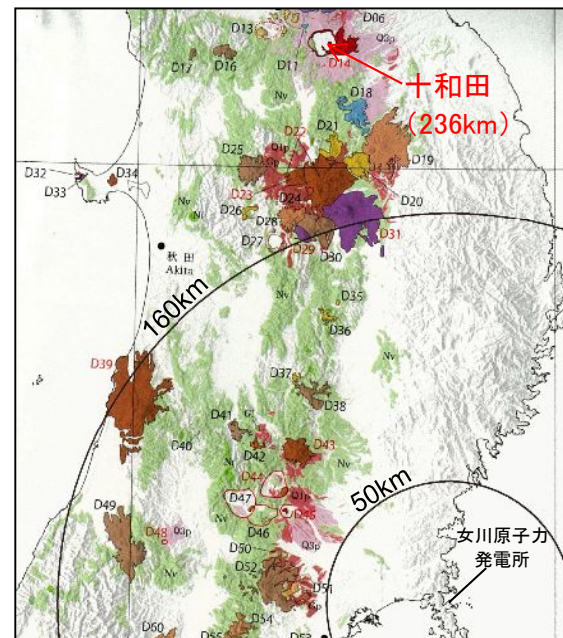
3. 1. 3 シミュレーション 【十和田:活動性①】

十和田の概要(中野ほか編(2013))

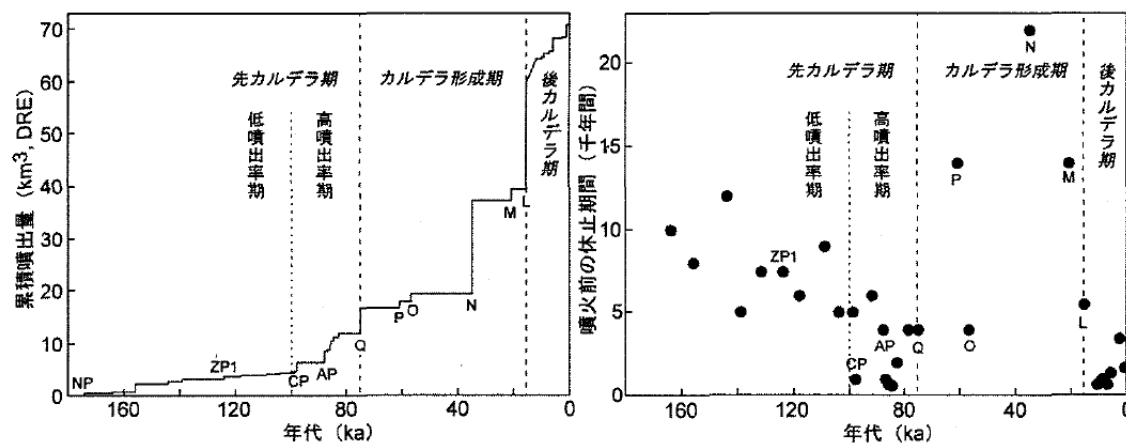
火山名	十和田
敷地からの距離	約236km
火山の形式	カルデラ, 複成火山, 溶岩ドーム
活動年代	約20万年前以降~A.D.915

工藤ほか(2011)によれば, 十和田の活動性について以下の内容が述べられている。

- 現在, 十和田は後カルデラ期とされ, 同期間の噴火は高頻度(噴火間隔3,400年以下)・低噴出量(2.5km³以下)となっている。それに対し, カルデラ形成期の噴火は低頻度(噴火間隔22,000~4,000年)・高噴出量(1.2~20.3km³)であり異なっている。
- マグマ噴出率は, 100ka以降からほぼ一定である。現在の後カルデラ期は先カルデラ期後期と活動様式が類似しており, 今後, マグマ供給率が(先カルデラ期前期のように)減少しなければ, 長期的(数万年スケール)には再びカルデラ形成期へと移行する可能性が指摘される。
- 過去の活動履歴から, カルデラ形成期では噴出量1km³以下の(小規模な)噴火が発生していない。大規模噴火前(十和田-大不動, 十和田-八戸)には数万年間の低噴出率期が先行する傾向が見られるが, 現在の十和田は, 15,000年間にわたって高噴出率期にあり, 噴出量1km³以下の小規模噴火が数多く発生していることから, 現状ではカルデラ形成期のような状態には至っていないと考えられる。
- 今後も短期的(数百年~数千年スケール)には, 過去15,000年間と同様な活動が継続すると推定され, 仮にカルデラ形成を伴う大規模噴火が発生するとしても, それは数万年先になると予想される。



東北地方の火山地質図(中野ほか編(2013)による)



(工藤ほか(2011))

- [カルデラ形成期]
 L: 十和田八戸火砕流及び八戸テフラ
 M: 十和田ビスケット2テフラ
 N: 十和田大不動火砕流及び切田テフラ
 O: 十和田合同テフラ
 P: 十和田キビダンゴテフラ
 Q: 十和田奥瀬火砕流及びレッドテフラ
- [先カルデラ形成期]
 AP: 十和田アオスジテフラ
 CP: 十和田カステラテフラ
 ZP1: 十和田ザラメ1テフラ
 NP: 十和田ヌカミソテフラ

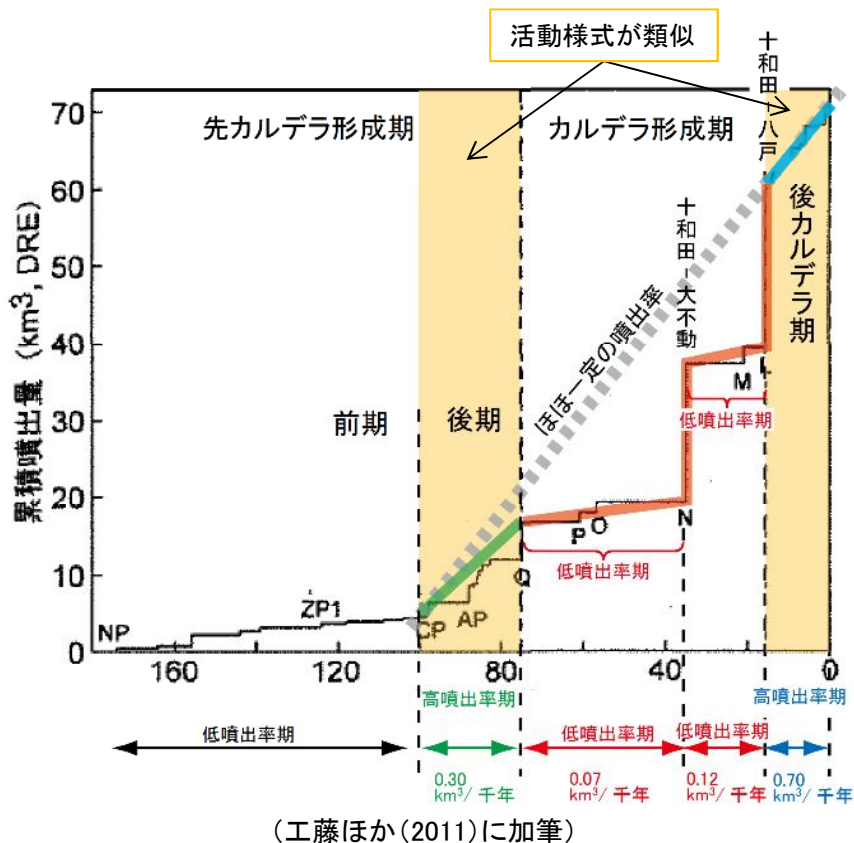
3. 原子力発電所に影響を及ぼし得る火山事象の抽出

3.1 降下火砕物の影響評価

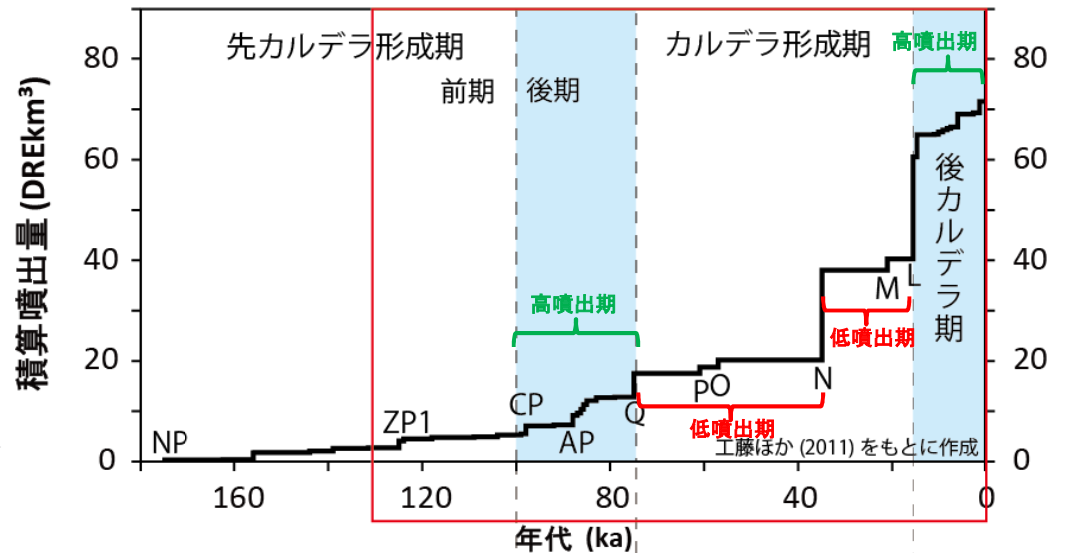
3.1.3 シミュレーション【十和田：活動性②】

- 町田・新井(2003), Hayakawa(1985), 工藤(2010)によれば, カルデラ形成期では, VEI5とVEI6規模の噴火が発生するもののVEI4規模の噴火は発生せず, 後カルデラ期では, VEI4とVEI5規模の噴火が発生している(右図・右下図)。
- カルデラ形成期では, 数万年間の低噴出率期(0.07km³/千年, 0.12km³/千年)を経た後, カルデラ形成を伴う大規模噴火(十和田-大不動, 十和田-八戸)が発生している(下図)。

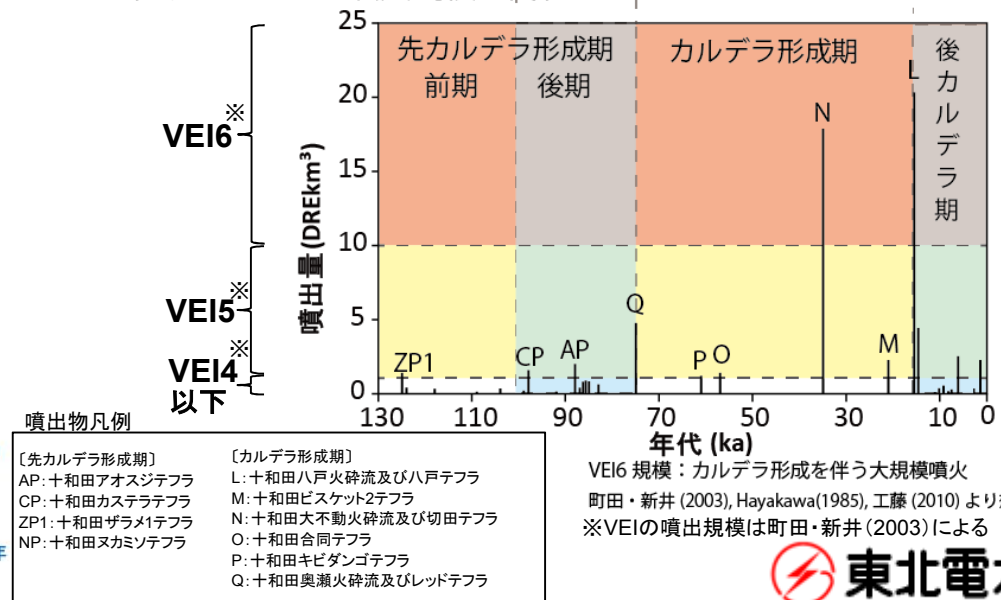
現在は, 後カルデラ期の高噴出率期(0.70km³/千年)であり, カルデラを形成するような状態には至っていないと考えられる。



十和田火山の階段ダイヤグラム



活動ステージと噴火規模の関係



3. 原子力発電所に影響を及ぼし得る火山事象の抽出

3.1 降下火砕物の影響評価

3.1.3 シミュレーション【十和田:入力パラメータ】

➢ 十和田の噴出量, 噴煙柱高さ及びその他の計算条件については, 以下のとおり設定した。

【噴出量について】

- 現在, 十和田は後カルデラ期であると考えられる。
- 後カルデラ期の降下火砕物を伴う既往最大の噴火は十和田-中掬テフラを伴った噴火であることから, この噴火を考慮することとする。
- 十和田中掬の噴出量は, Hayakawa (1985)によれば6.68(DRE km³), 須藤ほか(2007)によれば4.95(DRE km³)であると報告されている。

十和田の降下火砕物シミュレーションに用いる噴出量を Hayakawa (1985)の6.68(DRE km³)に設定する。

【噴煙柱高度について】

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

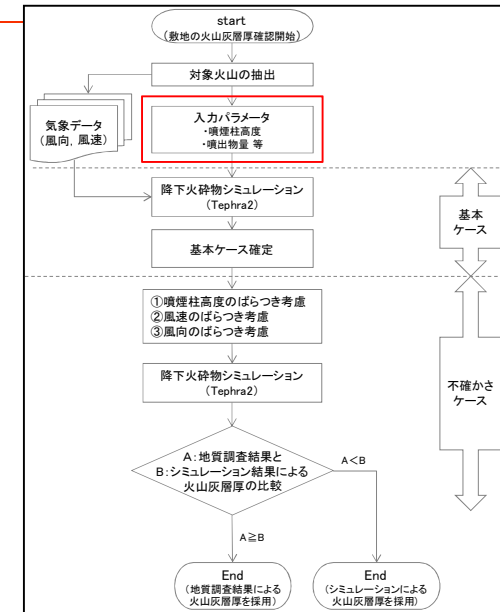
VEI	1	2	3	4	5	6	7	8
噴出物総体積 (km ³)	0.0001 ~ 0.001	0.001 ~ 0.01	0.01 ~ 0.1	0.1 ~ 1	1 ~ 10	10 ~ 100	100 ~ 1000	1000~
噴煙柱高度 (km)	0.1~1	1~5	3~15	10~25	>25			

小噴火 中噴火 大噴火 巨大噴火 破局的噴火
 爆発的噴火
 テフロクロノロジーに利用
 高頻度 低頻度

※町田・新井(2003)に一部加筆

- 町田・新井(2003)によれば, 十和田の噴出物量6.68(DRE km³)に対応する噴煙柱高さは, 25km以下である。

噴煙柱高度を25kmに設定する。



シミュレーションを用いた降下火砕物の堆積厚さ確認フロー

【その他の計算条件】

項目	単位	値	設定根拠
噴出標高	m	400	中野ほか編(2013)より設定
噴煙柱分割高さ	m	100	万年(2013)より設定
最大粒径	mm	1/2 ⁻¹⁰	Tephra2 Users Manual(2011)より設定
最小粒径	mm	1/2 ¹⁰	Tephra2 Users Manual(2011)より設定
中央粒径	mm	1/2 ^{4.5}	Tephra2 Users Manual(2011)より設定
粒径標準偏差	mm	1/2 ³	Tephra2 Users Manual(2011)より設定
岩片密度	kg/m ³	2,600	Tephra2 Users Manual(2011)より設定
軽石粒子密度	kg/m ³	1,000	Tephra2 Users Manual(2011)より設定
渦拡散係数	m ² /s	0.04	Suzuki(1983)より設定
拡散係数	m ² /s	10,000	万年(2013)より設定
落下時間閾値	s	3600	Bonadonna et al.,(2005)より設定

3. 原子力発電所に影響を及ぼし得る火山事象の抽出

3. 1 降下火砕物の影響評価

3. 1. 3 シミュレーション 【十和田：基本ケース結果】

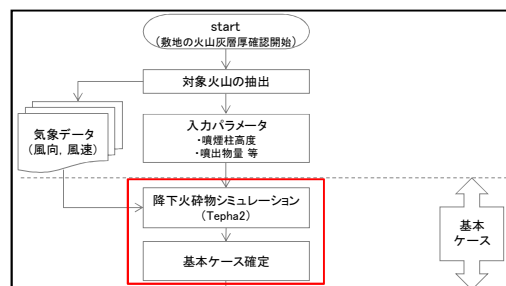
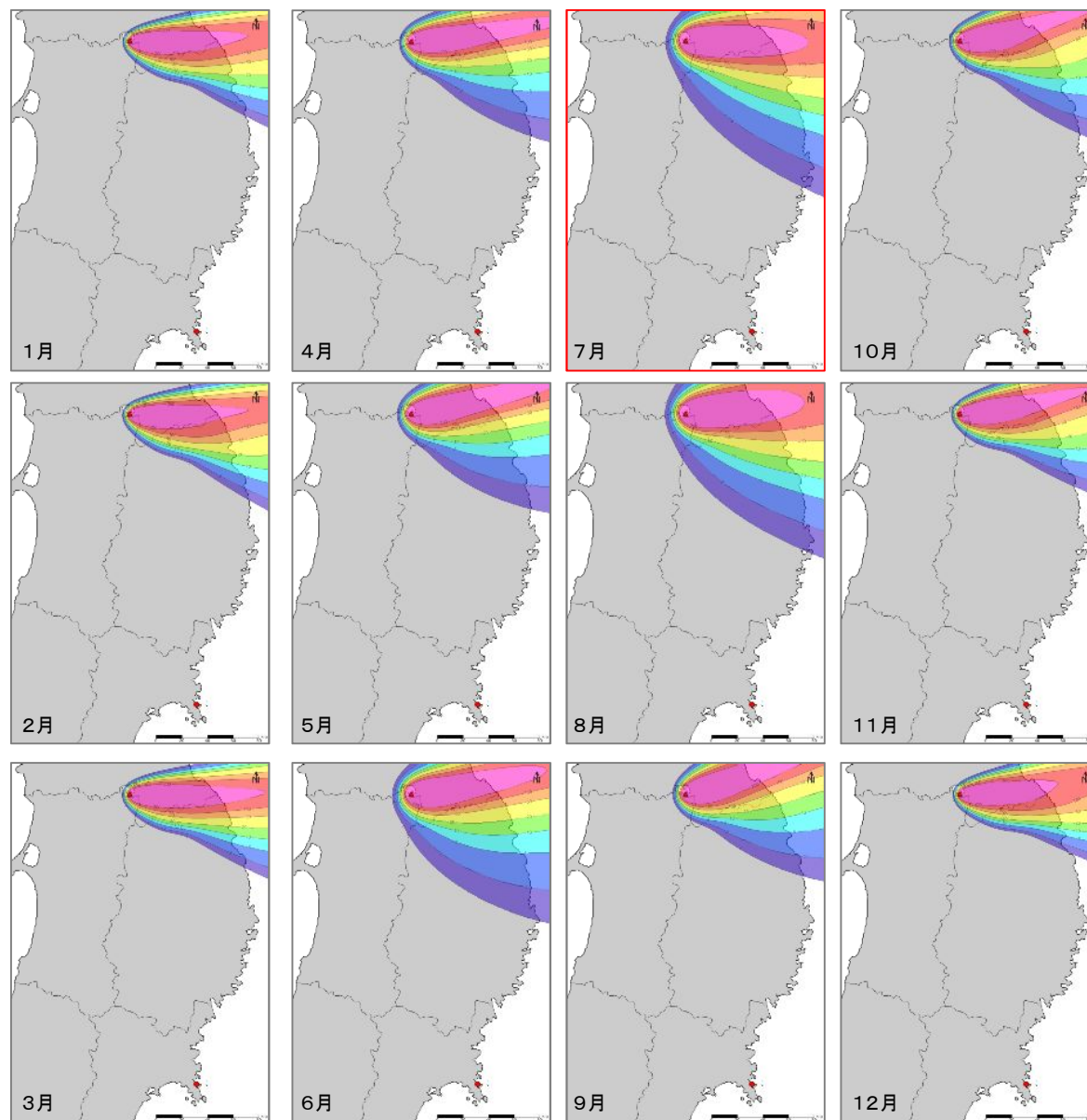
➤ 十和田(十和田-中掬テフラ)を対象とした降下火砕物のシミュレーションを実施した結果、敷地にはほとんど堆積しない結果となった。

6~8月の女川原子力発電所位置での層厚

6月:0.010cm

7月:0.013cm(最大)

8月:0.012cm



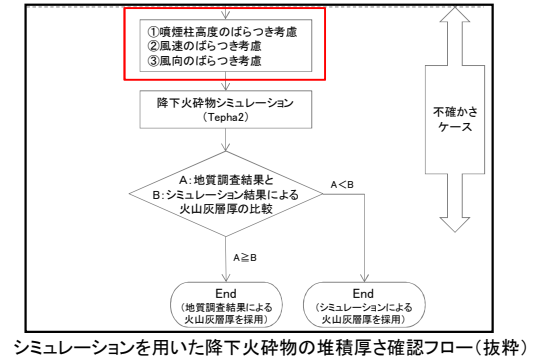
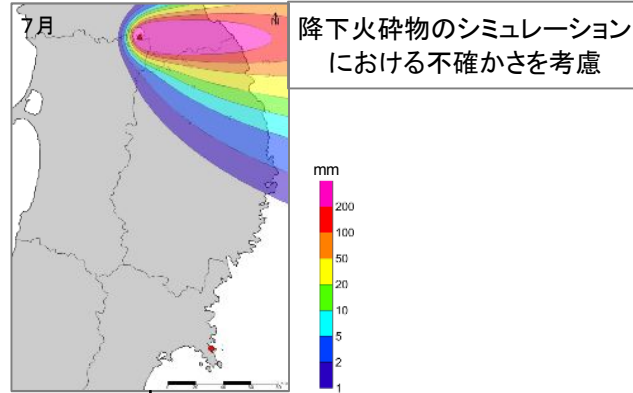
シミュレーションを用いた降下火砕物の堆積厚さ確認フロー(抜粋)

3. 原子力発電所に影響を及ぼし得る火山事象の抽出

3.1 降下火砕物の影響評価

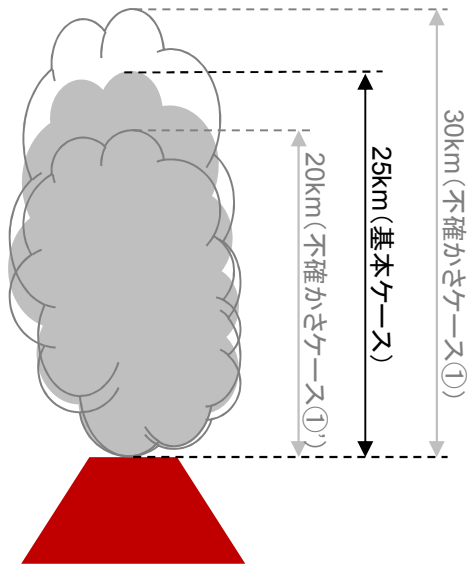
3.1.3 シミュレーション【十和田：不確かさの考慮】

- ▶ 降下火砕物シミュレーションにおける不確かさを考慮する。
- ▶ 降下火砕物の分布が最も敷地に向いている7月の気象データを用いたケースを基本として、噴煙柱高さ、風速、風向の不確かさを考慮する。



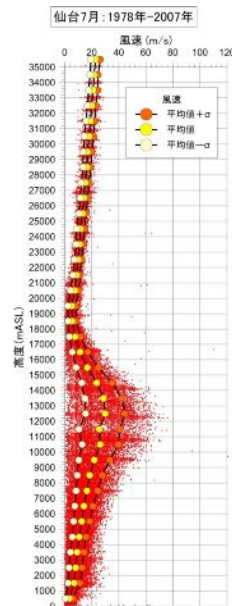
①噴煙柱高さに関する不確かさの考慮

基本ケース(25km)に対して、 $\pm 5\text{km}$ を考慮する。



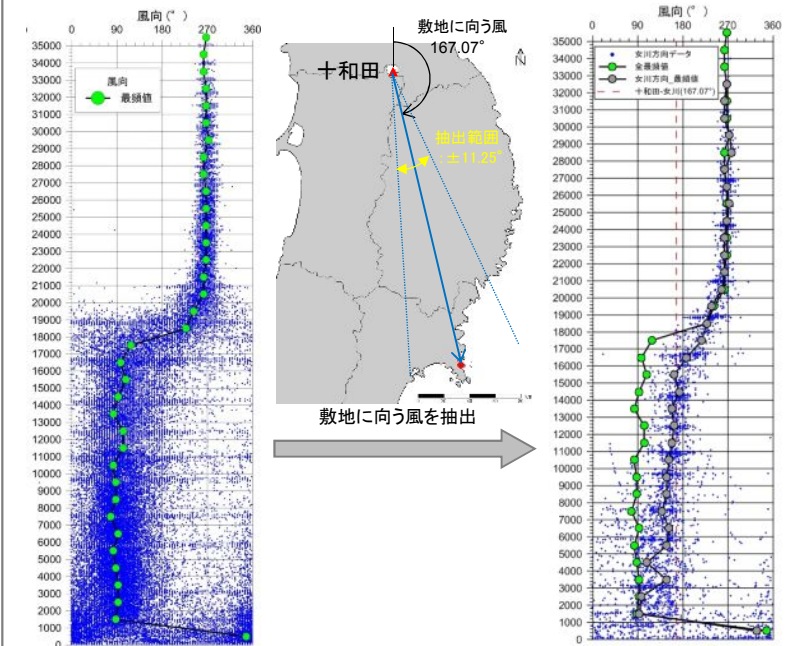
②風速に関する不確かさの考慮

基本ケース(平均風速)に対して、 $\pm\sigma$ (標準偏差)を考慮する。



③風向に関する不確かさの考慮

基本ケース(最頻値)に対して、火山から敷地に向う仮想的な風を考慮する。

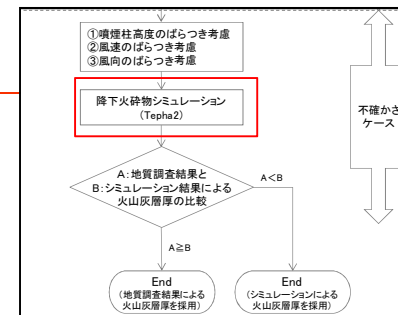


3. 原子力発電所に影響を及ぼし得る火山事象の抽出

3. 1 降下火砕物の影響評価

3. 1. 3 シミュレーション【十和田：不確かさケース①】

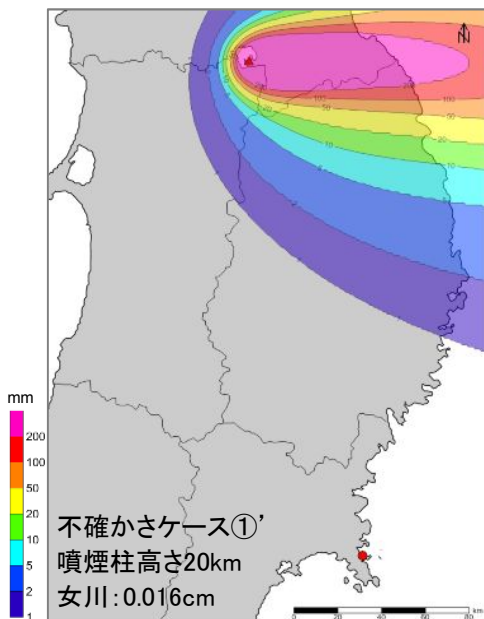
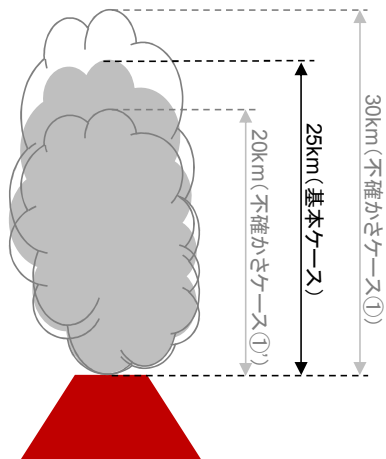
- 噴煙柱高さの不確かさ(±5km)を考慮しても敷地にはほとんど堆積しない結果となった。



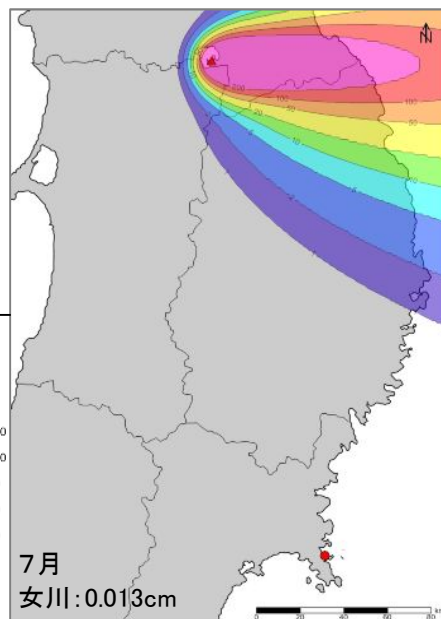
シミュレーションを用いた
降下火砕物の堆積厚さ確認フロー(抜粋)

噴煙柱高さの不確かさを考慮した結果

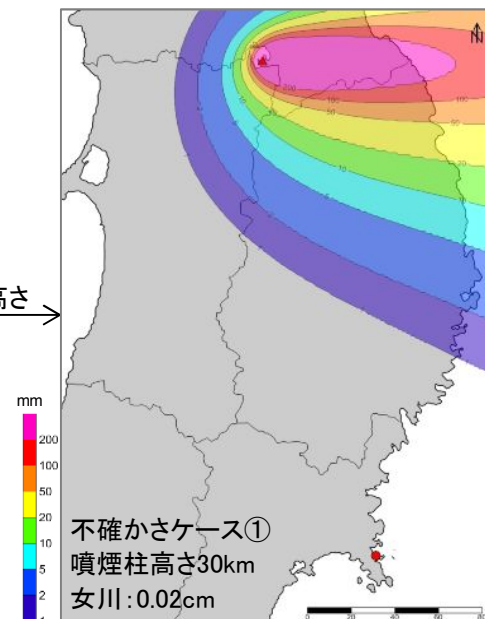
ケース	噴煙柱高さ	女川の火山灰層厚
基本ケース	25km	0.013cm
不確かさケース①	30km	0.020cm
不確かさケース①'	20km	0.016cm



噴煙柱高さ
20km



噴煙柱高さ
30km

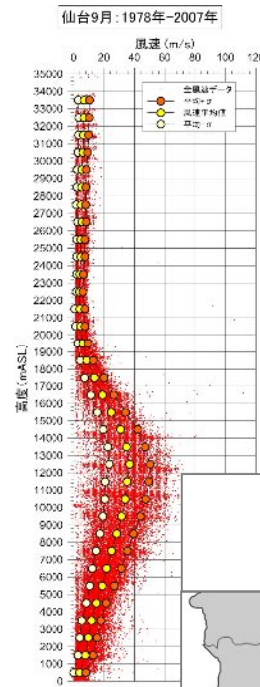


3. 原子力発電所に影響を及ぼし得る火山事象の抽出

3.1 降下火砕物の影響評価

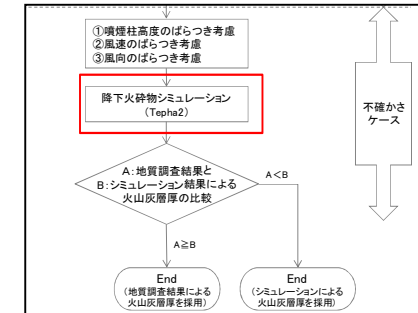
3.1.3 シミュレーション【十和田：不確かさケース②】

- 風速の不確かさ(±標準偏差)を考慮しても敷地にはほとんど堆積しない結果となった。

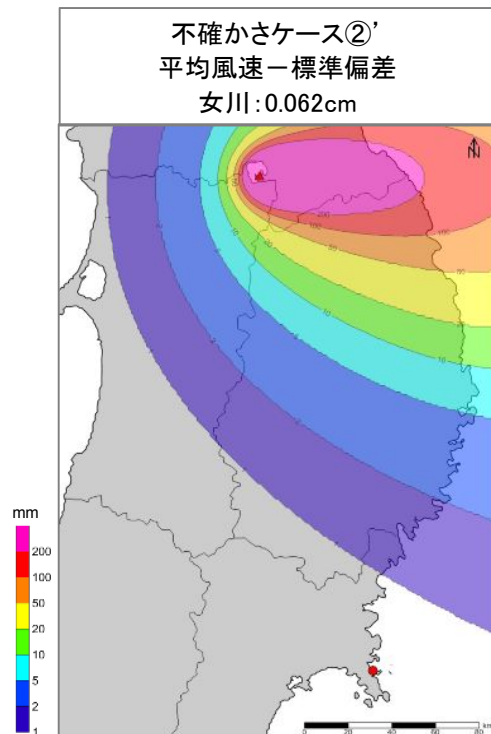


風速の不確かさを考慮した結果

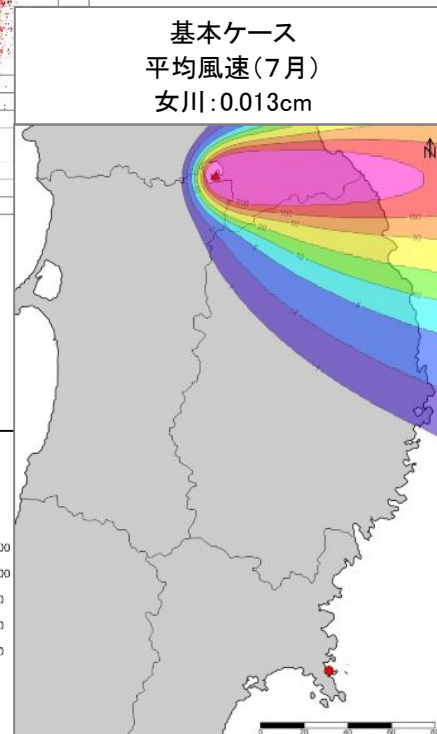
ケース	風速	女川の火山灰層厚
基本ケース	平均	0.013cm
不確かさケース②	平均 + 1σ	0.004cm
不確かさケース②'	平均 - 1σ	0.062cm



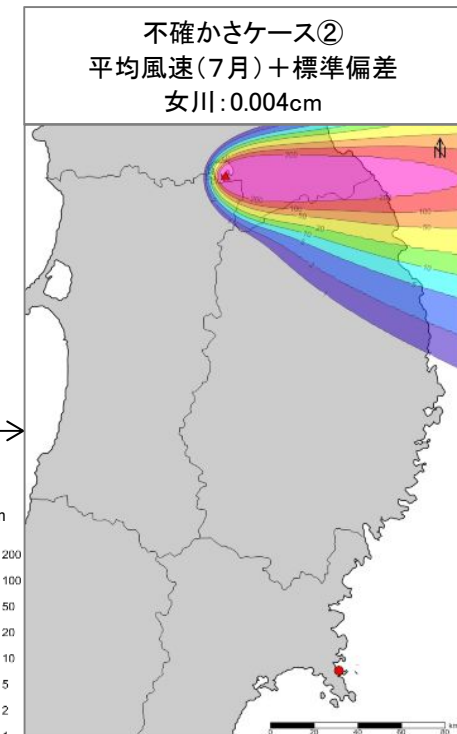
シミュレーションを用いた降下火砕物の堆積厚さ確認フロー(抜粋)



平均風速 - 標準偏差



平均風速 + 標準偏差



3. 原子力発電所に影響を及ぼし得る火山事象の抽出

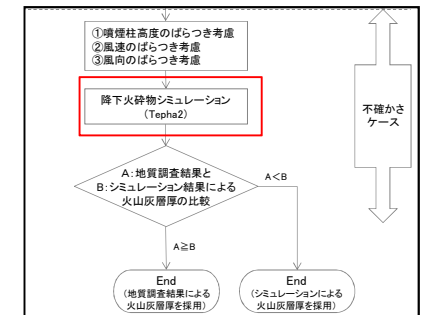
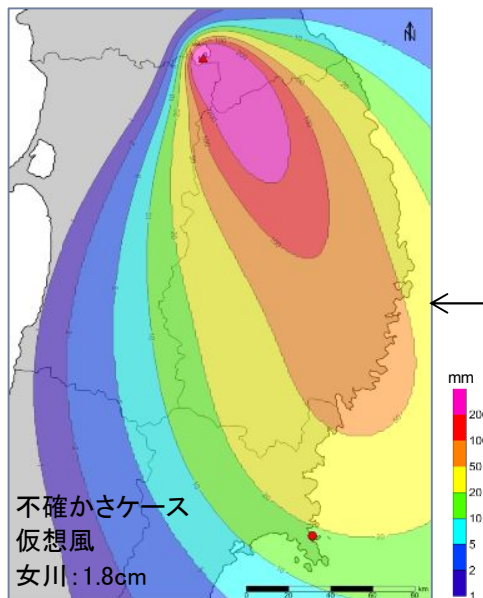
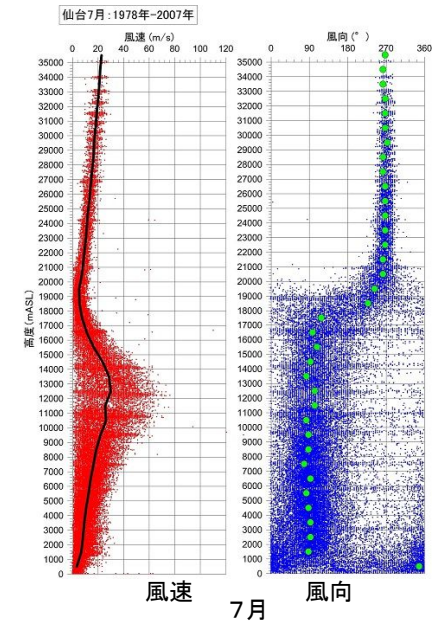
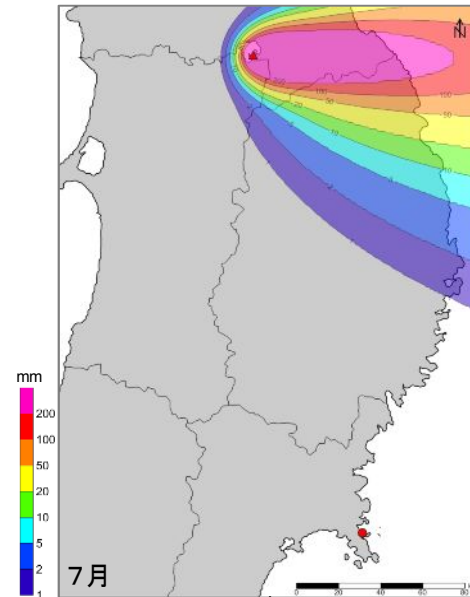
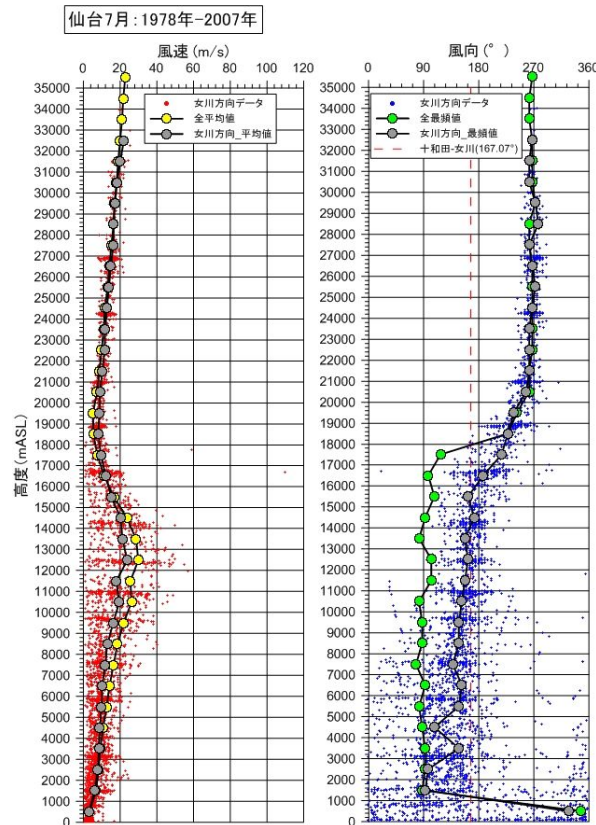
3. 1 降下火砕物の影響評価

3. 1. 3 シミュレーション 【十和田：不確かさケース③】

➤ 風向の不確かさ(敷地に向う仮想風)を考慮した結果、敷地では1.8cmとなった。

風向の不確かさを考慮した結果

ケース	風向	女川の火山灰層厚
基本ケース	最頻値	0.013cm
不確かさケース③	敷地に向う仮想風	1.8cm



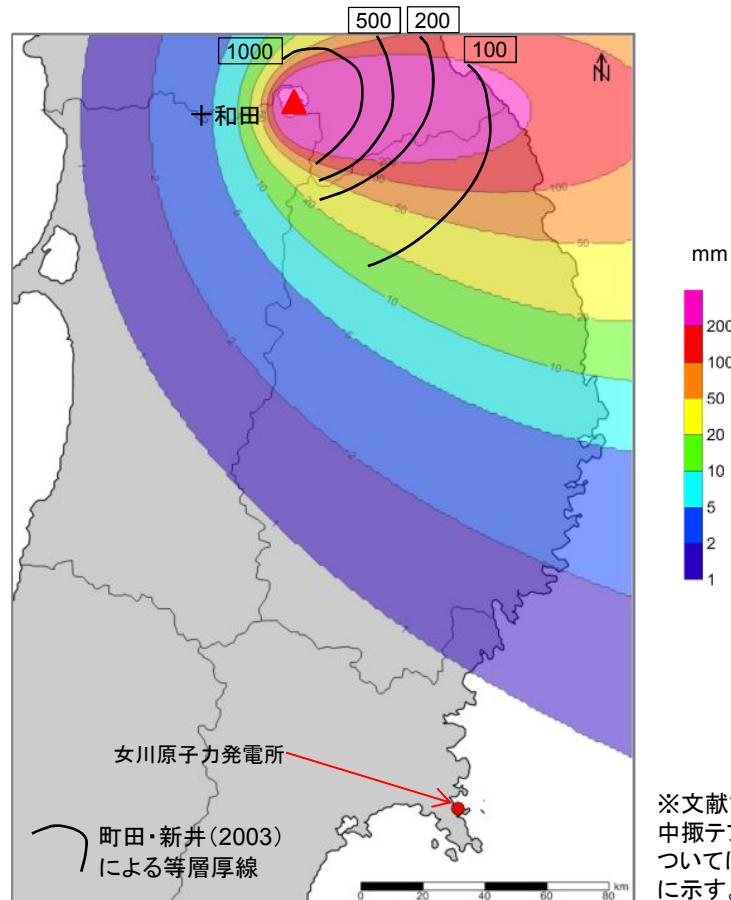
シミュレーションを用いた
降下火砕物の堆積厚さ確認フロー(抜粋)

3. 原子力発電所に影響を及ぼし得る火山事象の抽出

3.1 降下火砕物の影響評価

3.1.3 シミュレーション【十和田：文献で示されている等層厚線との比較】

- 7月の気象データを基本に風速を -1σ （ -1 標準偏差）にしたシミュレーション結果と町田・新井(2003)で示されている等層厚線図の比較を下に示す。
 - シミュレーションの結果ではほぼ真東に軸を持つような分布を示しているのに対して、町田・新井(2003)では十和田の東側で等層厚線がほぼ同心円で示されている。



※文献で示されている十和田一中嶽テフラの露頭層厚については、補足説明資料p70-76に示す。

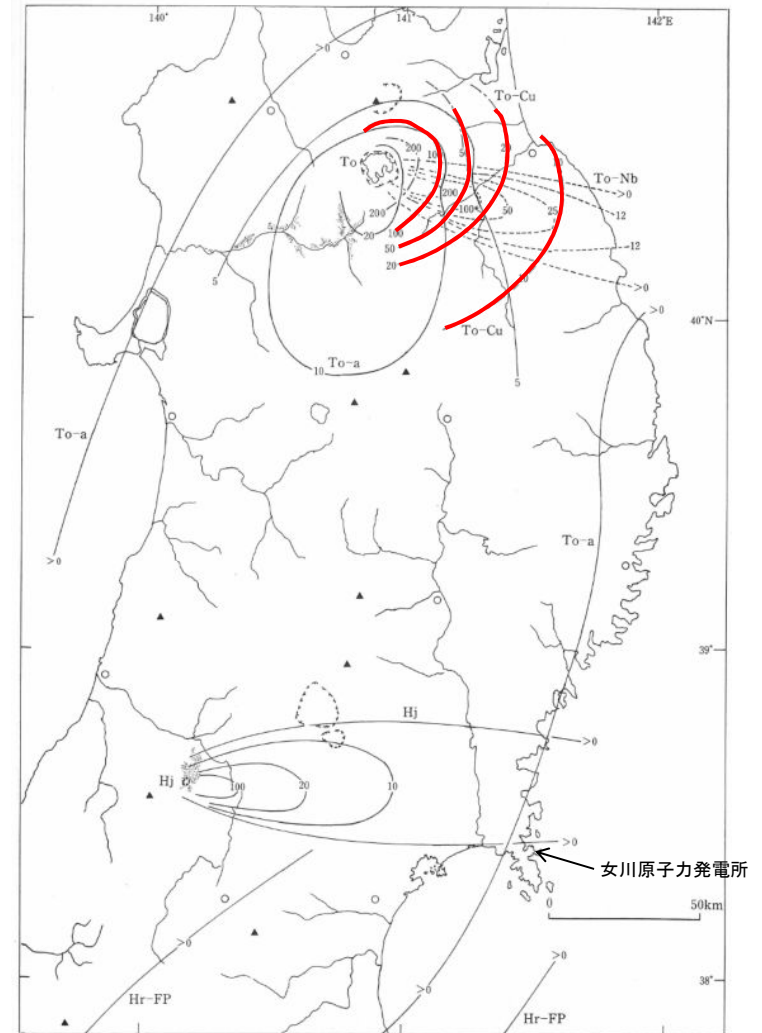


図 3.4-2 東北地方の完新世主要テフラの等層厚線図。
 To-a 十和田 a (pfi の分布も示す)¹⁾²⁾³⁾ Hr-FP 榛名二ツ岳伊香保²⁾ To-Cu 十和田中嶽²⁾
 To-Nb 十和田南麓²⁾ Hj 封折尾花沢 (pfi の分布も示す) To: 十和田, Hj: 封折。
 [1] 町田ほか (1981a), 2) Arai et al. (1986), 3) Hayakawa (1980)]

降灰シミュレーション結果と文献で示されている層厚の比較(7月平均風速 -1σ)

東北地方の完新世主要テフラの等層厚線図
 (町田・新井(2003)に一部加筆)



3. 原子力発電所に影響を及ぼし得る火山事象の抽出

3.1 降下火砕物の影響評価

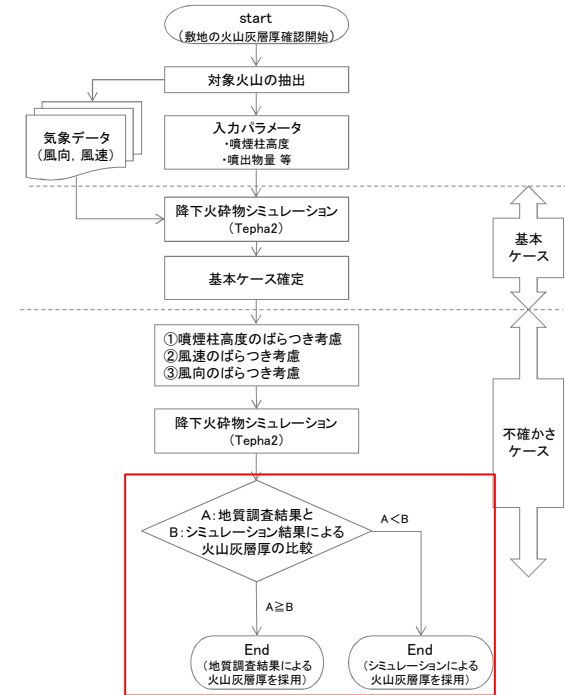
3.1.3 シミュレーション【まとめ】

【降下火砕物のシミュレーションのまとめ】

- 降下火砕物のシミュレーションの結果、最大でも女川の層厚は8.6cmであり、敷地で評価している降下火砕物の層厚10cmを下回っていることを確認した。
- 肘折カルデラを対象とした結果では最大層厚が1.4cmであったことから、敷地内で確認された肘折一尾花沢テフラは侵食よりは降下後の再堆積の影響により局所的となり、最大10cmの層厚になったと考えられる。

降下火砕物のシミュレーション結果

ケース	不確かさの考慮	女川での火山灰層厚				
		肘折カルデラ	鳴子カルデラ	蔵王山	十和田	
基本ケース(月別)	—	0.8cm	1.0cm	3.1cm	0.013cm	
不確かさケース	噴煙柱高さ	30km	0.8cm	1.3cm	2.8cm	0.020cm
		20km	0.7cm	0.8cm	3.3cm	0.016cm
	風速	平均+1σ	0.6cm	0.5cm	2.4cm	0.004cm
		平均-1σ	0.8cm	2.5cm	2.4cm	0.062cm
風向	敷地に向う仮想風	1.4cm	8.6cm	3.0cm	1.8cm	



シミュレーションを用いた降下火砕物の堆積厚さ確認フロー

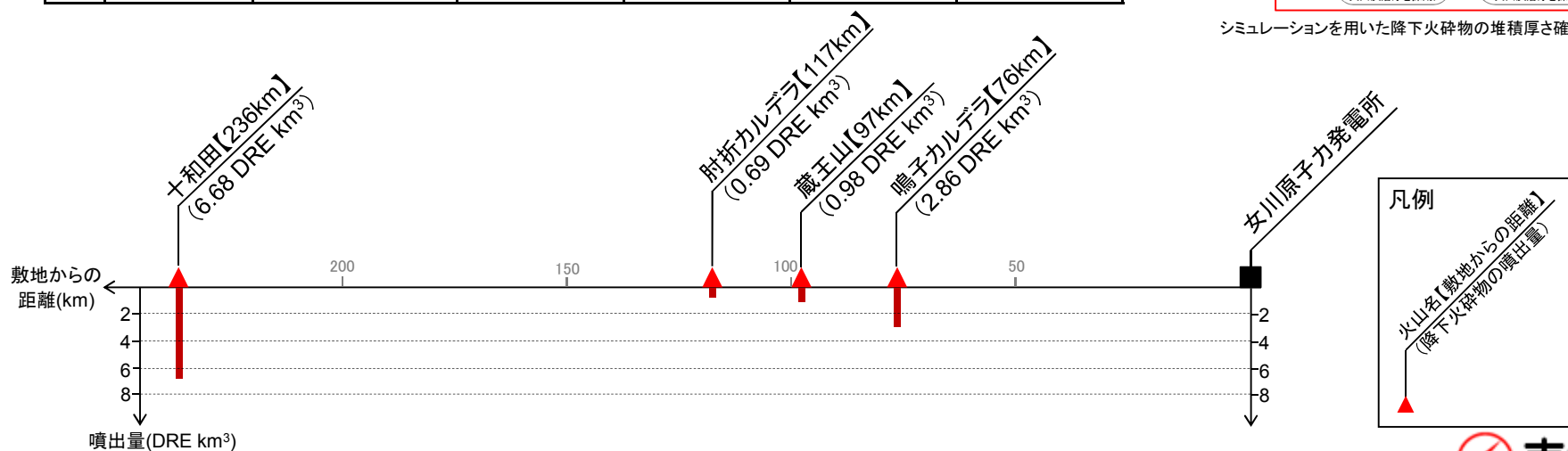


図 各火山の敷地からの距離と噴出量

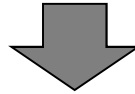
3. 原子力発電所に影響を及ぼし得る火山事象の抽出

3.1 降下火砕物の影響評価

3.1.4 降下火砕物の影響評価のまとめ

【降下火砕物による影響評価のまとめ】

- 文献調査の結果、女川原子力発電所の敷地に降灰した可能性のある降下テフラは、いずれも10cm以下である。
- 敷地内で実施した地質調査の結果、最大層厚10cmの降下テフラを確認した。
- 降下火砕物のシミュレーションの結果、敷地での層厚は最大でも8.6cm(給源:鳴子カルデラ)であった。



以上のことから、敷地内で確認された最大層厚10cmを、女川原子力発電所で考慮する降下火砕物の層厚とする。

3. 原子力発電所に影響を及ぼし得る火山事象の抽出

3.2 敷地を中心とする半径160km内の火山による火山事象の影響評価

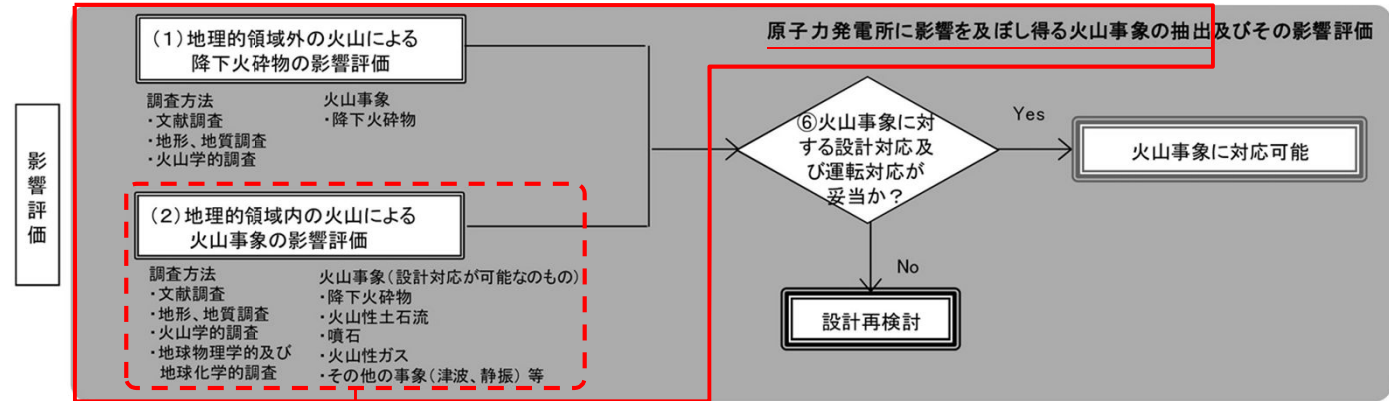


図1 原子力発電所に影響を及ぼす火山影響評価の基本フロー

➤ 発電所の安全性に影響を及ぼす可能性のある火山事象のうち、火山性土石流、噴石、火山性ガス、その他の事象等について検討を行った。

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^{※1}

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、サージ及びブラスト	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. 岩層なだれ、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. 地盤変動	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、多重衝撃	注4
13. 熱水系及び地下水の異常	熱水、腐食性水、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。

3. 原子力発電所に影響を及ぼし得る火山事象の抽出

3.2 敷地を中心とする半径160km内の火山による火山事象の影響評価

第189回審査会合
資料2-1 再掲

- 原子力発電所に影響を及ぼし得る火山について、影響を評価すべき火山事象(火山性土石流, 飛来物(噴石), 火山ガス及びその他の火山事象)の抽出を行った。

火山名	敷地からの距離(km)	火山性土石流他		飛来物(噴石)		火山ガス		その他の火山事象	
		120km		10km		160km			
焼石岳	102	○	敷地と火山は北上山地に隔てられており、敷地付近に流下する大きな河川がないことから、発電所への影響を考慮する必要はないと判断	○	敷地と火山の距離から、発電所に影響を及ぼす可能性はない	○	敷地は太平洋に突き出す牡鹿半島に立地しており、火山ガスが滞留するような地形ではないことから、発電所への影響を考慮する必要はないと判断される	○	低周波地震及び熱水活動が認められないこと、敷地と火山は十分な離隔があることから、発電所に影響を及ぼす可能性はない
鳥海山	148	○	敷地と火山の距離から、発電所に影響を及ぼす可能性はない						
栗駒山	87	○	敷地と火山は北上山地に隔てられており、敷地付近に流下する大きな河川がないことから、発電所への影響を考慮する必要はないと判断						
鳴子カルデラ	76								
肘折カルデラ	117								
月山	129	○	敷地と火山の距離から、発電所に影響を及ぼす可能性はない						
蔵王山	97	○	敷地と火山は北上山地に隔てられており、敷地付近に流下する大きな河川がないことから、発電所への影響を考慮する必要はないと判断						
吾妻山	140	○	敷地と火山の距離から、発電所に影響を及ぼす可能性はない						
安達太良山	136								
磐梯山	153								

○: 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



影響を評価すべき火山事象はない(降下火砕物については評価対象)。

4. まとめ

4. まとめ

【原子力発電所に影響を及ぼし得る火山の抽出】

- 敷地を中心とする半径160kmの範囲には、31の第四紀火山がある。
- 敷地を中心とする半径160kmの範囲の第四紀火山(31火山)について、完新世の活動の有無、将来の活動可能性の検討を行い、原子力発電所に影響を及ぼし得る火山として、焼石岳、鳥海山、栗駒山、鳴子カルデラ、肘折カルデラ、月山、蔵王山、吾妻山、安達太良山及び磐梯山の10火山を抽出した。

【抽出された火山の火山活動に関する個別評価】

- 敷地との距離、地形的条件、10火山の個別評価等の結果から、設計対応不可能な火山事象(火砕物密度流、溶岩流、岩屑なだれ他、新しい火口の開口及び地殻変動)が発電所に影響を及ぼす可能性はない。
- 既往最大の噴火を考慮しても発電所に影響を及ぼさないと判断されることから、モニタリングの必要性はない。

【原子力発電所に影響を及ぼし得る火山事象の抽出】

- 敷地における降下火砕物の層厚は、文献調査結果、地質調査結果及びシミュレーションの結果から、10cmとして評価した。
- 火山性土石流、飛来物(噴石)、火山性ガス及びその他の火山事象のうち影響を評価すべき事象はない。



女川原子力発電所において考慮すべき火山事象は、降下火砕物のみである。
また、影響評価に用いる降下火砕物の層厚は10cmとする。

密度:【乾燥密度】0.7g/cm³、【湿潤密度】1.5g/cm³ (宇井編(1997))

粒径:0.02~0.25mm程度 (顕微鏡写真より推定)

参考文献①

1. 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)・200万分の1地質編集図, No. 11, 地質調査総合センター.
2. 滝沢文教・柳沢幸夫・久保和也・鎌田耕太郎・駒澤正夫・石原文実・広島俊男・中塚正(1992):20万分の1地質図幅「石巻」(第2版).
3. 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
4. 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
5. 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, 日本火山学会
6. 日本第四紀学会編(1987):日本第四紀地図
7. 町田洋・新井房夫(2003):新編 火山灰アトラス[日本列島とその周辺](第2刷). 東京大学出版会, p336
8. 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>
9. 北村信(1967):宮城県の地質, 宮城県20万分の1地質図説明書, 宮城県商工労働部中小企業課
10. 生出慶司・中川久夫・蟹沢聰史(1989):日本の地質2. 東北地方
11. 防災科学技術研究所編(2013):日本の火山ハザードマップ集(第2版), 防災科学技術研究所研究資料, 第380号, 防災科学技術研究所
12. 笠原慶一・杉村新(1978):岩波講座 地球科学10 変動する地球 I -現在および第四紀-
13. 原子力規制委員会(2013):原子力発電所の火山影響評価ガイド 制定 平成25年6月19日 原規技発第13061910号 原子力規制委員会決定
14. 照井一明・瀬川泰宏(1994):焼石岳火山起源の村崎野軽石について. 地質学雑誌, 100, 509-512
15. 北村信(1965):5万分の1「焼石岳」地質図幅および同説明書, 地質調査総合センター, p40
16. 大沢あつし・舟山裕士・北村信(1971):5万分の1「川尻」地質図幅および同説明書, 地質調査総合センター, p40
17. 林信太郎(1984):鳥海火山の地質. 岩鉱, 90, 195-214
18. 伴雅雄・林信太郎・高岡宣雄(2001):東北日本弧, 鳥海火山のK-Ar年代-連続的に活動した3個の成層火山-. 火山, 46, 317-333
19. 藤縄明彦・藤田浩司・高橋美保子・梅田浩司・林信太郎(2001):栗駒火山の形成史. 火山, 46, 269-284
20. 早田勉(1989):テフロクロノロジーによる前期旧石器時代遺物包含層の検討-仙台平野北部の遺跡を中心に-. 第四紀研究, 28, 269-282
21. 土谷信之・伊藤順一・関陽児・巖谷敏光(1997):5万分の1地質図幅「岩ヶ崎」および同説明書, 地質調査総合センター, p96
22. 阪口圭一・山田三(1988):鬼首カルデラ周辺の火砕堆積物-いわゆる北川石英安山岩-の再検討. 地質調査所報告, 第268号, 37-59
23. 大沢あつし・三村弘二・久保和也・広島俊男・村田泰章(1987):20万分の1地質図幅「仙台」.
24. 大沢あつし・広島俊男・駒澤正夫・須田芳朗(1988):20万分の1地質図幅「新庄及び酒田」.
25. 竹内誠・鹿野和彦・御子柴(氏家)真澄・中川充・駒澤正夫(2005):20万分の1地質図幅「一関」.
26. 小池一之・町田洋編(2001):「日本の海成段丘アトラス」. 東京大学出版会, p122
27. 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, 261-321
28. 宮城磯治(2007):肘折火山:噴出物の層序と火山活動の推移. 火山, 52, 311-333
29. 中里浩也・大場孝信・板谷徹丸(1996):月山火山の地質とK-Ar年代. 岩鉱, 91, 1-10
30. 井村隆介(1999):5. 美しい火口湖に秘められた火山の素顔をさぐる. 「フィールドガイド日本の火山④東北の火山」
31. 酒寄淳史(1985):南蔵王火山の地質. 岩鉱, 80, 94-103
32. 酒寄淳史(1992):蔵王火山の地質と岩石. 岩鉱, 87, 433-444
33. 井上剛・伴雅雄・廣谷志穂(2009):蔵王火山, 約300~100kaの噴出物の岩石学的特徴. 火山学会予稿集
34. 藤縄明彦・鴨志田毅(1999):6. 吾妻火山 雄大な爆裂カルデラと中央火口丘を歩く. 「フィールドガイド日本の火山④東北の火山」
35. 山元孝広(2005):福島県, 吾妻火山の最近7千年間の噴火史:吾妻-浄土平火山噴出物の層序とマグマ供給系. 地質学雑誌, 111, 94-110
36. 藤縄明彦(1980):安達太良火山の地質と岩石. 岩鉱, 75, 385-395
37. 藤縄明彦・林信太郎・梅田浩司(2001):安達太良火山のK-Ar年代:安達太良火山形成史の再検討. 火山, 46, 95-106
38. 藤縄明彦・鎌田光春(2005):安達太良火山の最近25万年間における山体形成史とマグマ供給系の変遷. 岩鉱, 34, 35-58
39. 山元孝広・須藤茂(1996):テフラ層序からみた磐梯火山の噴火活動史. 地質調査所月報, 47, 335-359

参考文献②

40. 梅田浩司・林信太郎・伴雅雄・佐々木実・大場司・赤石和幸(1999):東北日本, 火山フロント付近の2.0Ma以降の火山活動とテクトニクスの推移. 火山, 44, 233-249
41. 山元孝広(2012):福島-栃木地域における過去約30万年間のテフラの再記載と定量化. 地質調査研究報告, 63, 35-91
42. 渡辺満久(1991):北上低地帯における河成段丘面の編年および後期更新世における岩屑供給. 第四紀研究, 30, 19-42
43. 八木浩司(1996):宮城県鬼首に認められる後期更新世テフラ層-鳴子火山起源のテフラと広域テフラ-. 「第四紀露頭集-日本のテフラ」, 日本第四紀学会, 155-155
44. 大場司・林信太郎・伴雅雄・近藤梓・葛巻貴大・鈴木真悟・古木久美子(2012):最近4500年間の鳥海火山の噴火活動-湿原堆積物に保存された火山灰層の解析-. 火山, 57, 65-76
45. 伴雅雄(2013):蔵王火山. 地質学雑誌, 119, 補遺, 120-133
46. 山元孝広・阪口圭一(2000):テフラ層序からみた安達太良火山, 最近約25万年間の噴火活動. 地質学雑誌, 106, 12, 865-882
47. 土志田 潔・宇都浩三・内海 茂(1999):東北地方中部における時代未詳火山岩類のK-Ar年代とその意義. 地球惑星科学関連学会合同大会予稿集, Vc-P001
48. 伴雅雄・佐川日和・三浦光太郎・田中勇三・大場司(2004):蔵王火山の最近約3万年間の層序と噴出物の岩石学的特徴の時間変化. 地球惑星科学関連学会合同大会予稿集, G017-P001
49. 井村隆介(1994):蔵王火山五色岳の噴火史. 地球惑星科学関連学会合同大会予稿集, G21-11, 370
50. 高岡宣雄・今野幸一・大場与志男・今田正(1989):蔵王火山溶岩のK-Ar年代測定. 地質学雑誌, 95, 3, 157-170
51. 大場与志男・加藤裕二・川崎正人・今田正・斎藤和男・坂本淳一・高岡宣雄(1990):南蔵王火山の年代. 地球惑星科学関連学会合同大会日本火山学会固有セッション講演予稿集, H31-07, 71-71
52. 今田正・大場与志男・土肥浩巳・玉井ます美(1987):山形市東部, 滝山火山の地質と岩石. 岩石鉱物鉱床学会誌, 82, 345-351
53. 林信太郎・高橋邦浩・佐藤正樹・吉田武義(1994):天狗森火砕岩のK-Ar年代と全岩化学組成. 東北大学理学部核理研究報告, 27, 218-231
54. 千葉茂樹・木村純一(2001):磐梯火山の地質と火山活動史-火山灰編年法を用いた火山活動の解析-岩鉱, 30, 126-156
55. 八島隆一・千葉茂樹(1982):磐梯山の火山活動史(Ⅱ). 福島大学特定研, No.3, 91-101
56. 三村弘二(1994):磐梯火山の放射年代-概法-. 地調月報, 45, 565-571
57. 穴倉正展・澤井祐紀・岡村行信・小松原純子・Than Tin Aung・石山達也・藤原 治・藤野滋弘(2007)石巻平野における津波堆積物の分布と年代. 活断層・古地震研究報告, 7, 31-46, 産業技術総合研究所地質調査総合センター.
58. NEDO(1991):平成2年度全国地熱資源総合調査(第3次)広域熱水流動系調査磐梯地域火山岩分布, 年代調査報告書. pp.201
59. 千葉茂樹(2009):磐梯火山の火山活動史-火山活動史の解析と火山災害の予測-. 福島大学紀要, 7, 117-211
60. 伴雅雄・佐川日和・三浦光太郎・田中勇三(2005):蔵王山の火山防災マップ. 月刊地球, 27, 4, 317-320
61. 宇井忠英編(1997):火山噴火と災害, 東京大学出版会
62. Suzuki, T.(1983):A theoretical model for dispersion of tephra. Shimozuru, D. and Yokoyama, I. (eds.) Arc Volcanism : Physics and Tectonics : 95-116, Terra Scientific Publishing.
63. University of South Florida(2011):Tephra2 Users Manual , Spring 2011
64. 早田勉(1996a):鳴子カルデラから噴出した中規模火砕流堆積物群と降下テフラ. 「第四紀露頭集-日本のテフラ」, 日本第四紀学会, 156-156
65. 早田勉(1996b):日本における前期旧石器文化の確認-宮城県座敷木遺跡・馬場壇A遺跡-. 「第四紀露頭集-日本のテフラ」, 日本第四紀学会, 158-158
66. 早田勉(2000):「沼向遺跡, 中野高柳遺跡におけるテフラ分析」. 仙台市文化財調査報告241, 沼向遺跡第1~3時調査, 108-111
67. 梅田浩司・林信太郎・伴雅雄(1999):東北日本, 筑森, 高松, 船形, および三吉・葉山火山のK-Ar年代. 火山, 44, 4, 217-222
68. 北村信(1956):東北地方脊梁山地(岩手・秋田・宮城県境)に発達する石英安山岩類の層位学的問題について. 地球化学, 28, 14-22
69. T.Ishida(1981):Pliocene and Quaternary history of the northern part of Sendai Lowland area, a study of structural and geomorphic development. Saito Ho-on Kai Mus. Nat. Hist. Res. Bull., 49, 19-35
70. E.Yamada(1988):Geologic development of the Onikobe caldera, Northeast Japan, with special reference to its hydrothermal system. Rept. Geol. Surv. Japan, 268, 61-190
71. 高島勲・村上英樹・ディク ゲン ホン・エディ ステプタ・毛利陽司・柴田能辰(2006):鬼首・鳴子カルデラ周辺の後期更新世火砕流堆積物及び火山岩の熱ルミネッセンス年代. 岩鉱, 35, 70-77
72. 土谷信之・伊藤順一(1996):5万分の1地質図幅「岩ヶ崎」地域の火山層序:第三紀火山岩類および鬼首カルデラを起源とする火砕流の噴出年代. 日本火山学会講演予稿集, 2, 169-169
73. 今田正・大場与志男・高岡宣雄(1989):船形火山溶岩のK-Ar年代. 山形県学術調査報告書「御所山」, 33-36
74. Wada, K.(1981):Contrasted petrological relations between tholeiitic and calc-alkaline series from Funagata volcano. J. Japan. Assoc. Min. Petr. Econ. Geol., 76, 215-232.
75. NEDO(1990):平成元年度全国地熱資源総合調査(第3次)広域熱水流動系調査 磐梯地域 火山岩分布・年代調査報告要旨. 新エネルギー・産業技術総合開発機構, 144p
76. 三村弘二(2002):東北日本, 猫魔火山の地質と放射年代. 火山, 47, 4, 217-225
77. 福留高明(1982):鬼首地熱地帯の構造的特性. 秋田大学鉱山学部研究報告, 第3号, 91-94
78. 松野久也(1967):5万分の1地質図幅「若柳」及び同図幅説明書. 地質調査総合センター, p24
79. 竹内誠・兼子尚知(1996):5万分の1地質図幅「志津川」及び同図幅説明書. 地質調査総合センター, p93

参考文献③

80. 北村信・大沢あつし・石田琢二・中川久夫(1981):5万分の1地質図幅「古川」及び同図幅説明書. 地質調査総合センター, p32
81. 高橋兵一・松野久也(1969):5万分の1地質図幅「涌谷」及び同図幅説明書. 地質調査総合センター, p26
82. 滝沢文教・鎌田耕太郎・酒井彰・久保和也(1990):5万分の1地質図幅「登米」及び同図幅説明書. 地質調査総合センター, p127
83. 北村信・大沢あつし・中川久夫(1983):5万分の1地質図幅「吉岡」及び同図幅説明書. 地質調査総合センター, p50
84. 石井武政・柳沢幸夫・山口昇一・寒川旭・松野久也(1982):5万分の1地質図幅「松島」及び同図幅説明書. 地質調査総合センター, p121
85. 滝沢文教・神戸信和・久保和也・秦光男・寒川旭・片田正人(1984):5万分の1地質図幅「石巻」及び同図幅説明書. 地質調査総合センター, p103
86. 豊島正幸・石田琢二(1983):座散乱木遺跡周辺の地形・地質および火山灰. 石器文化談話会編「宮城県岩出山町座散乱木遺跡発掘調査報告書Ⅲ」, 80-94
87. 豊島正幸(1980):山形盆地東縁部における洪積世末期のテフラと河岸段丘の形成時期. 東北地理, 32,, 203-210
88. 澤井祐紀・宍倉正展・小松原純子(2008):ハンドコアラを用いた宮城県仙台平野(仙台市・名取市・岩沼市・亶理町・山元町)における古津波痕跡調査. 活断層・古地震研究報告, No.8, 17-70
89. 石村大輔・山田圭太郎・宮内崇裕・早瀬亮介(2014):三陸海岸の完新統に挟在するテフラの特徴. 地学雑誌, 123, 5, 671-697
90. 渡邊隆広・細田憲弘・土屋範芳・中村俊夫・平野伸夫・岡本敦・奈良郁子・東北大学歴史津波調査グループ(2014):仙台平野における歴史津波堆積物の放射性炭素年代測定一連続土壌堆積物試料HSシリーズの堆積年代(予察的分析)一. 地学雑誌, 123, 6, 904-922
91. Hayakawa, Y. (1985):Pyroclastic Geology Towada Voclano, Bull Earthq Res. Inst., Univ. Tokyo, 60, 507-592
92. 清棲保弘(1986):鬼首地域における地熱流体の起源. 地球化学, 20, 59-68
93. 工藤崇(2010):十和田火山, 御倉山溶岩ドームの形成時期と噴火推移. 火山, 55, pp89-107
94. 工藤崇・小林淳・山元孝広・岡島靖司・水上啓治(2011):十和田火山における噴火活動様式の時代変遷と長期予測. 日本第四紀学会講演要旨集, 41, pp82-83
95. 西来邦章, 伊藤順一, 上野龍之, 内藤一樹, 塚本齊編(2014):第四紀噴火・貫入活動データベースVer.1.00. (<https://gbank.gsj.jp/quatigneous/#chapt1>)
96. 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-第四紀学での利用を視野に, 第四紀研究, 52, pp173-187
97. Bonadonna, C., Connor, C. B., Houghton, B. F., Connor, L., Byrne, M., Laing, A. and Hincks, T. (2005):Probabilistic modeling of tephra dispersal : Hazard assessment of a multiphase rhyolitic eruption at Tarawera, New Zealand. Journal of Geophysical Research, 110, B03203
98. 町田洋・新井房夫・百瀬真(1985):阿蘇4火山灰一分布の広域性と後期更新世示標層としての意義一. 火山, 30, 49-70
99. 今田正・大場与志男(1989):船形火山の火山地質. 山形県学術調査報告書「御所山」, 15-32