

女川原子力発電所 火山影響評価について

平成27年 1月30日
東北電力株式会社

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。

本資料で説明する範囲

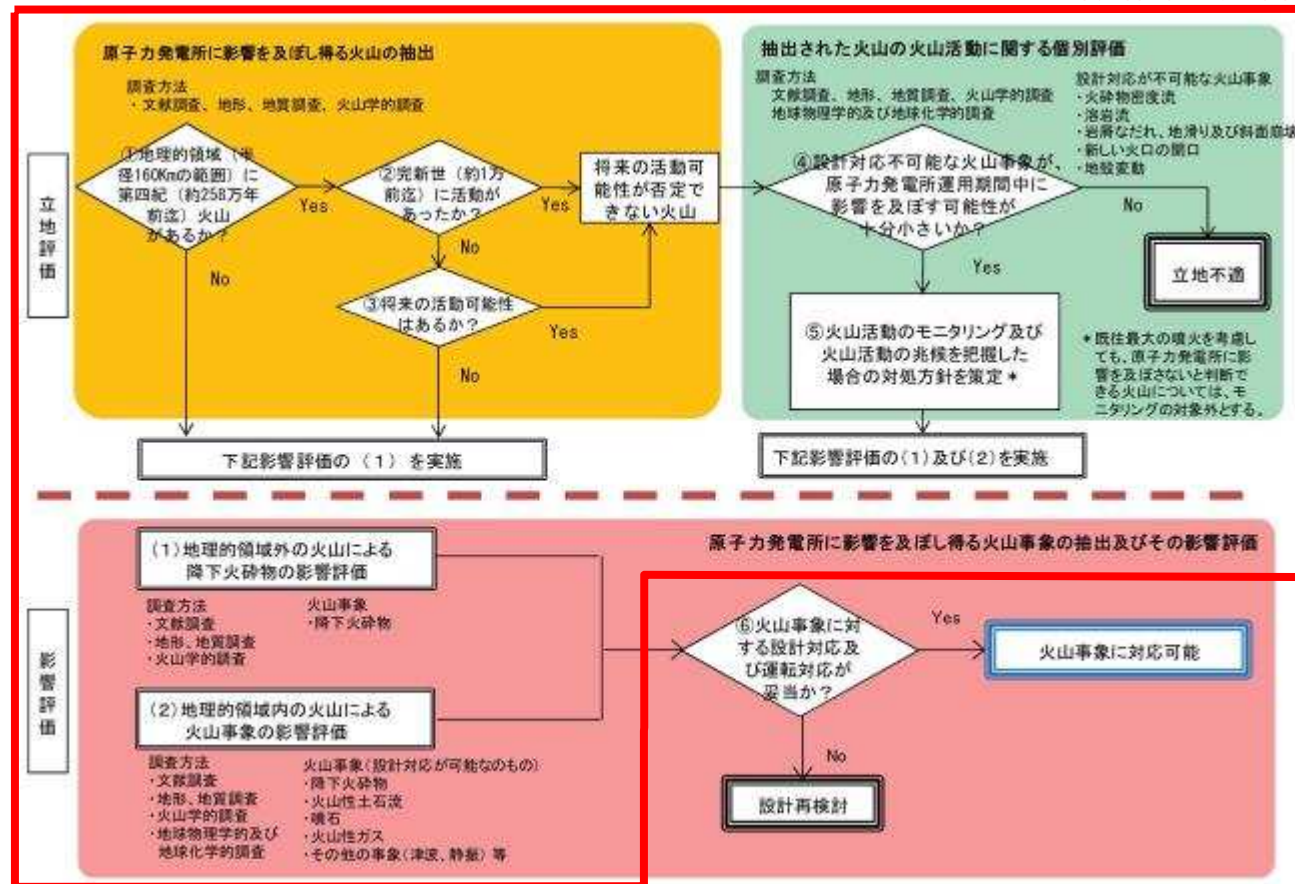


図1 原子力発電所に影響を及ぼす火山影響評価の基本フロー

「原子力発電所の火山影響評価ガイド」より抜粋、一部加筆

評価の概要

【立地評価】

- 原子力発電所に影響を及ぼし得る火山として10火山を抽出。
- 抽出された火山の火山活動に関する個別評価を行い、設計対応不可能な事象が発電所に影響を及ぼす可能性はない (モニタリング対象外)。

第73回原子力発電所の新規性基準適合性に係る審査会合 (平成26年1月28日) 資料2より抜粋
東北電力(株)女川原子力発電所2号機の申請内容に係る主要な論点
9.敷地への火砕流等の到達の有無に関して、詳細な地形・地質調査結果を提示すること。

【影響評価】

- 評価すべき降下火砕物の層厚は10cm。
- 降下火砕物以外に影響評価すべき火山事象はない。

目次

1. 原子力発電所に影響を及ぼし得る火山の抽出	p3
1.1 敷地を中心とする半径160kmの範囲の第四紀火山	p5
1.2 原子力発電所に影響を及ぼし得る火山	p8
2. 抽出された火山の火山活動に関する個別評価	p11
3. 原子力発電所に影響を及ぼし得る火山事象の抽出	p28
3.1 降下火砕物の影響評価	p30
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	p49
4. まとめ	p51
参考文献	p53

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. 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。

本章で説明する内容

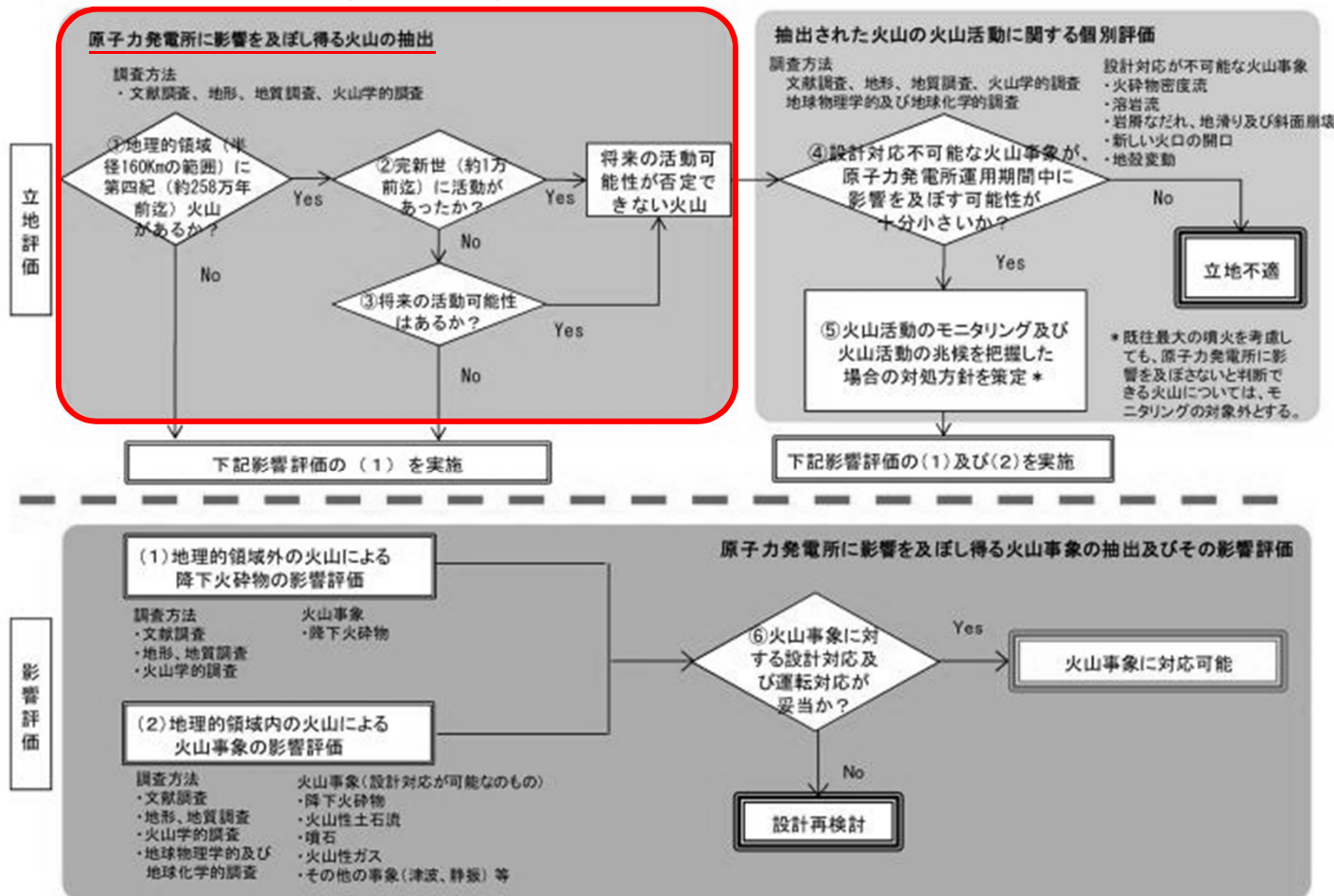


図1 原子力発電所に影響を及ぼす火山影響評価の基本フロー

「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】

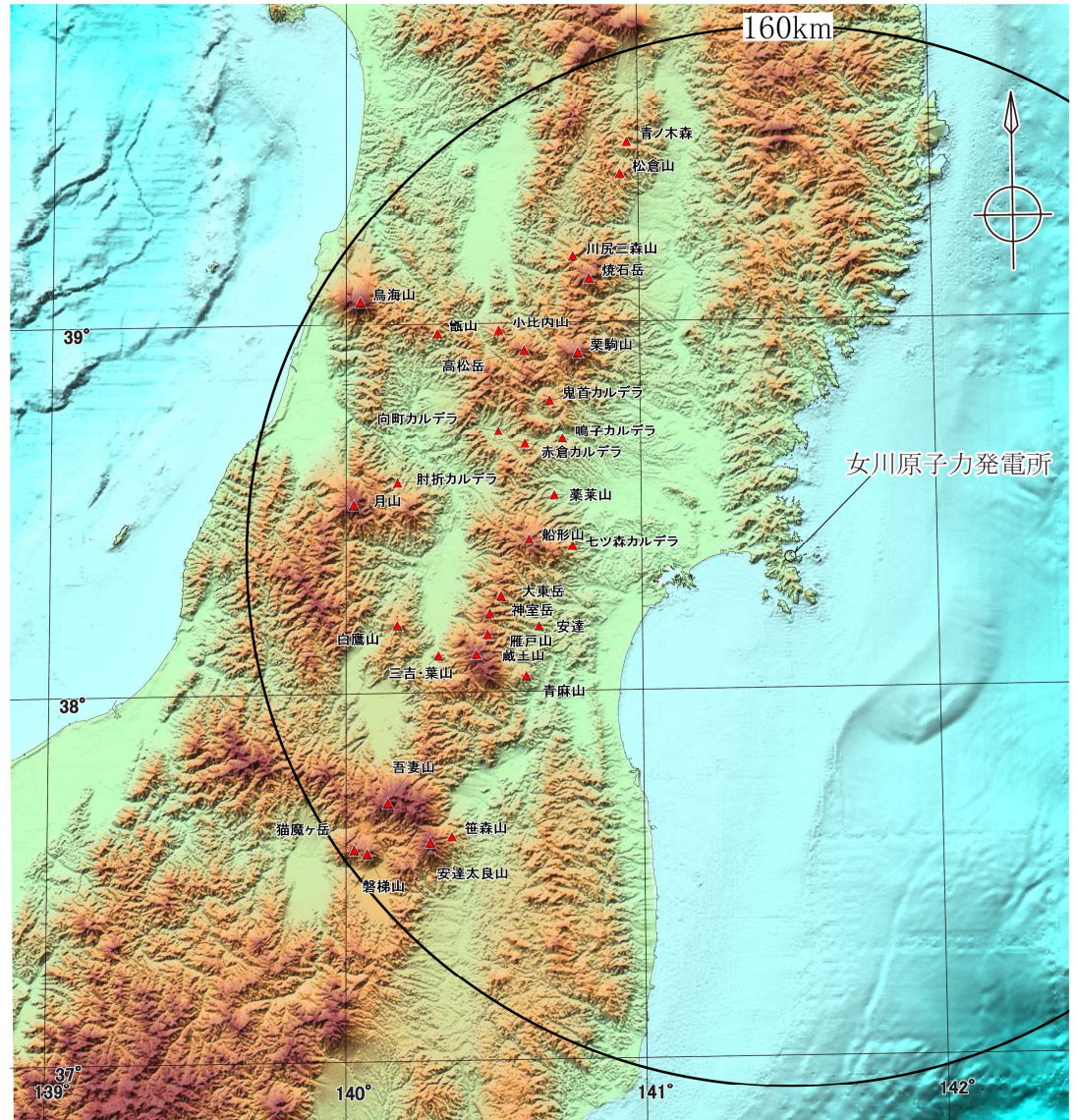
- 敷地を中心とする半径160kmの範囲には、下表のとおり、31の第四紀火山がある。
- これら31の第四紀火山は、盛岡～石巻、仙台～中通り(福島)にかけての低地帯よりも西側に分布し、脊梁山地を構成している。
- 敷地は、火山フロントより約60km東側に離れた北上山地南端部の牡鹿半島に位置している。

敷地を中心とする半径160kmの範囲の第四紀火山一覧

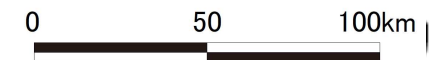
火山名	最新活動時期※1	敷地からの距離(km)
青ノ木森	G	134
松倉山	G	126
川尻三森山	G	111
焼石岳	Q2	102
鳥海山	H	148
甑山	Q1	123
小比内山	Q2	109
高松岳	Q2	100
栗駒山	H	87
鬼首カルデラ	Q2	85
鳴子カルデラ	H	76
赤倉カルデラ	G	85
向町カルデラ	Q2	94
肘折カルデラ	Q3	117
月山	Q2	129
葉葉山	Q1	72
七ツ森カルデラ	Q1	64
船形山	Q2	77
安達	Q3	76
大東岳	Q1	86
神室岳	Q1	90
雁戸山	Q2	92
青麻山	Q2	85
蔵王山	H	97
三吉・葉山	G	107
白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

※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



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】

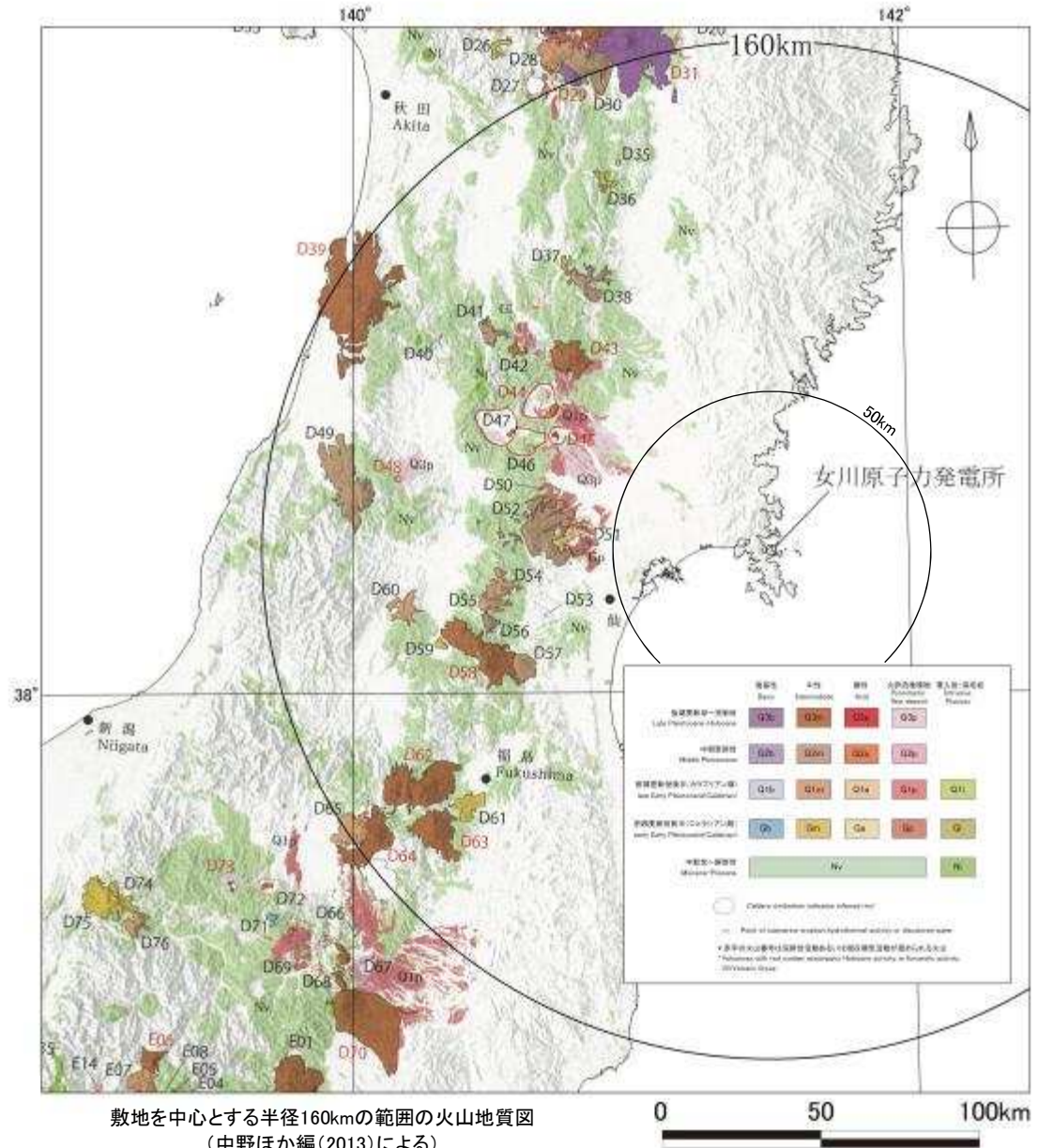
- 中野ほか編(2013)によれば、敷地を中心とする半径50kmの範囲に火砕流堆積物の分布は示されていない。

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】

➤ 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	10万年	1万年	完新世
			100万年			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	10万年	1万年	完新世
			100万年			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				

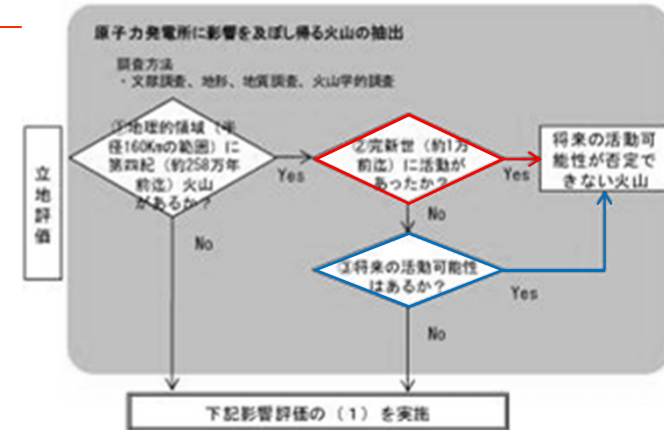
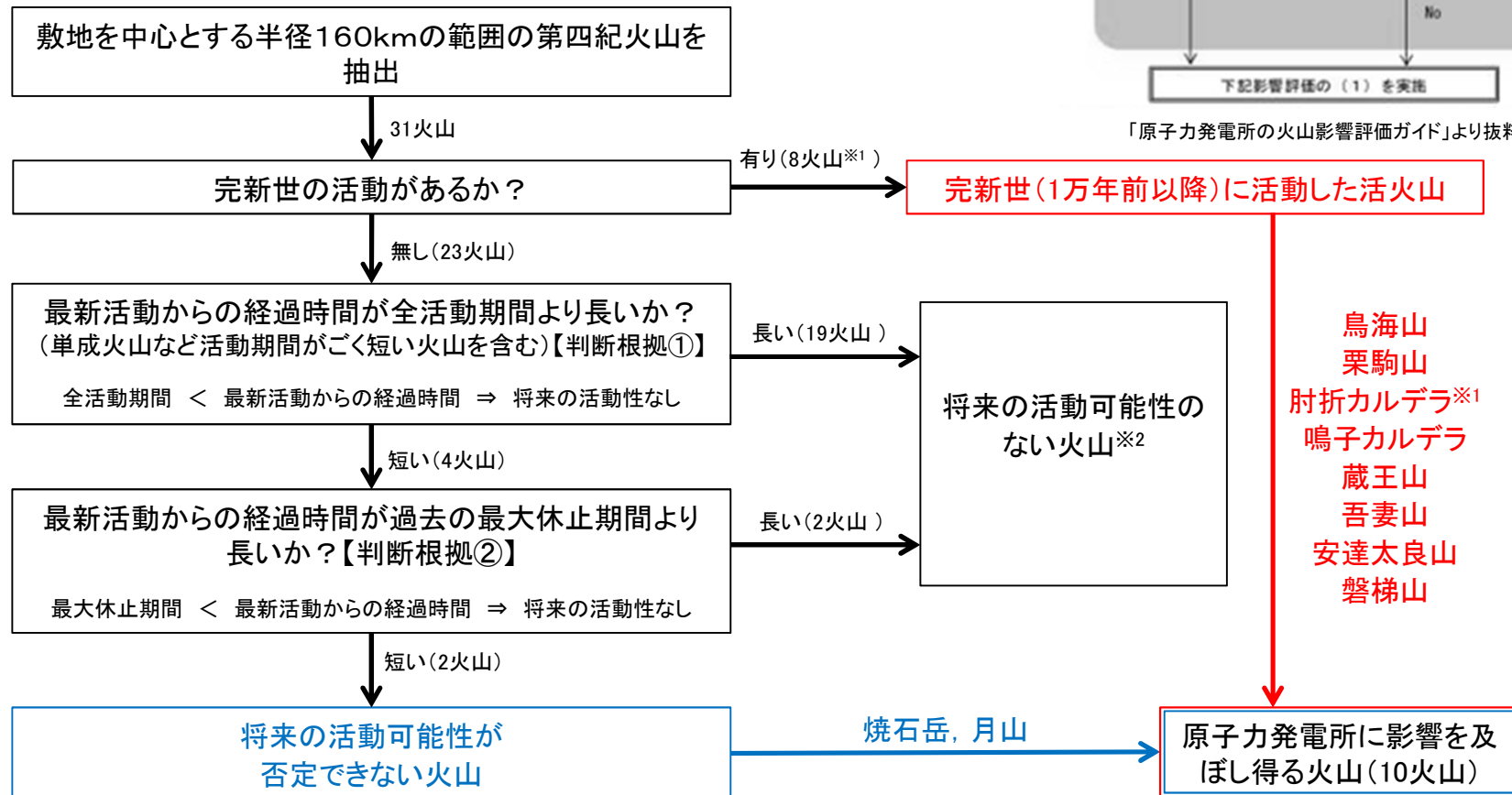
※1 中野ほか編(2013)による。

※2 中野ほか編(2013)及び当社文献調査結果による。

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【抽出結果①】

- 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

※1 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 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p3-23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【抽出結果②】

➤ 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 ^{※3}	判断根拠 ^{※3}
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	薬菜山	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 ^{※3}	判断根拠 ^{※3}
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)及び当社文献調査結果による。

※3 ①: 最新活動からの経過時間が全活動期間より長い(p8参照)。
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(p8参照)。

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【抽出結果③】

- 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

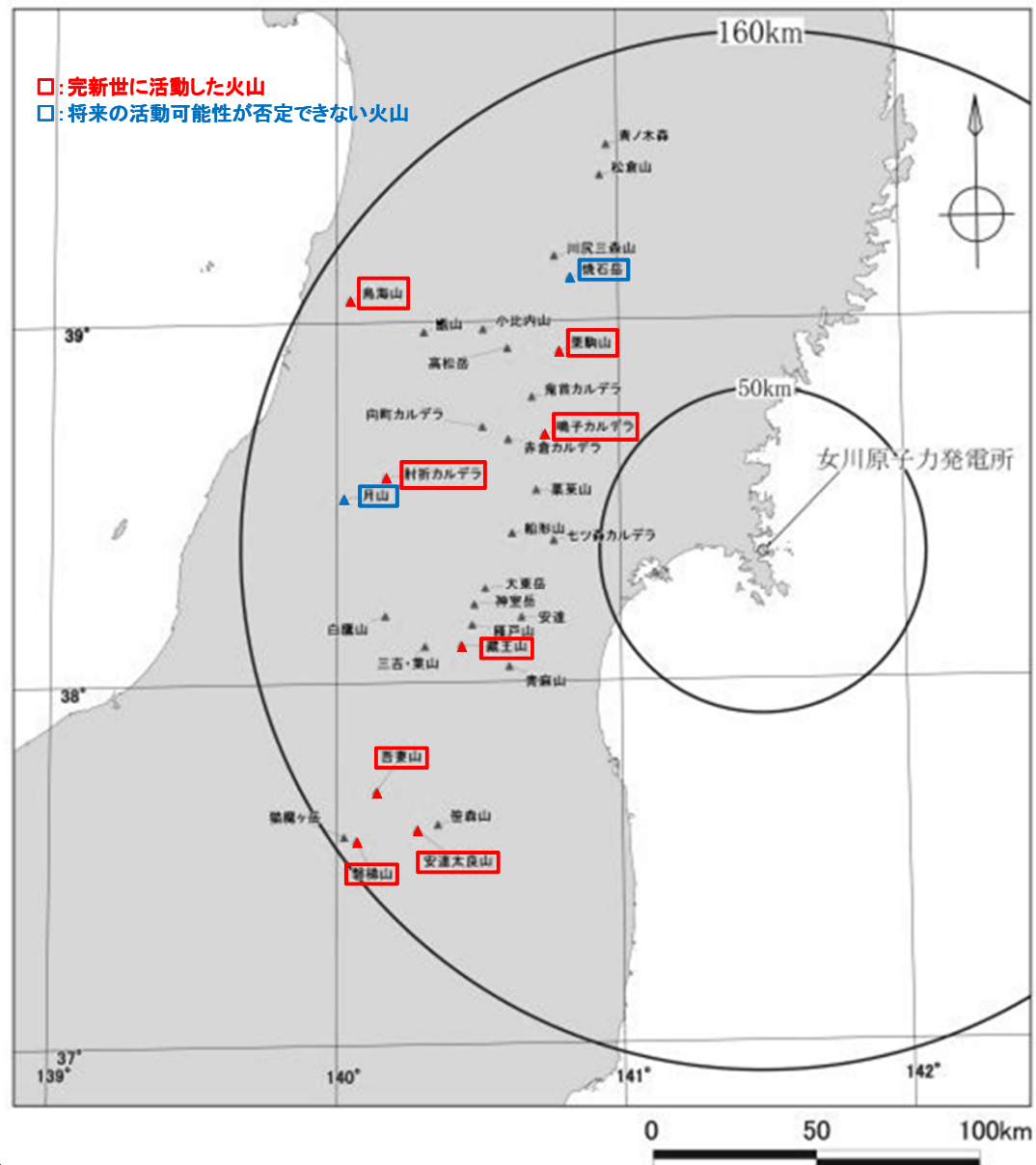
火山名	最新活動時期	敷地からの距離(km)
青ノ木森	G	134
松倉山	G	126
川尻三森山	G	111
焼石岳	Q2	102
鳥海山	H	148
甌山	Q1	123
小比内山	Q2	109
高松岳	Q2	100
栗駒山	H	87
鬼首カルデラ	Q2	85
鳴子カルデラ	H	76
赤倉カルデラ	G	85
向野カルデラ	Q2	94
肘折カルデラ*	Q3	117
月山	Q2	129
薬菜山	Q1	72
七ツ森カルデラ	Q1	64
船形山	Q2	77
安達	Q3	76
大東岳	Q1	86
神室岳	Q1	90
雁戸山	Q2	92
青麻山	Q2	85
蔵王山	H	97
三吉・葉山	G	107
白鷹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

【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。

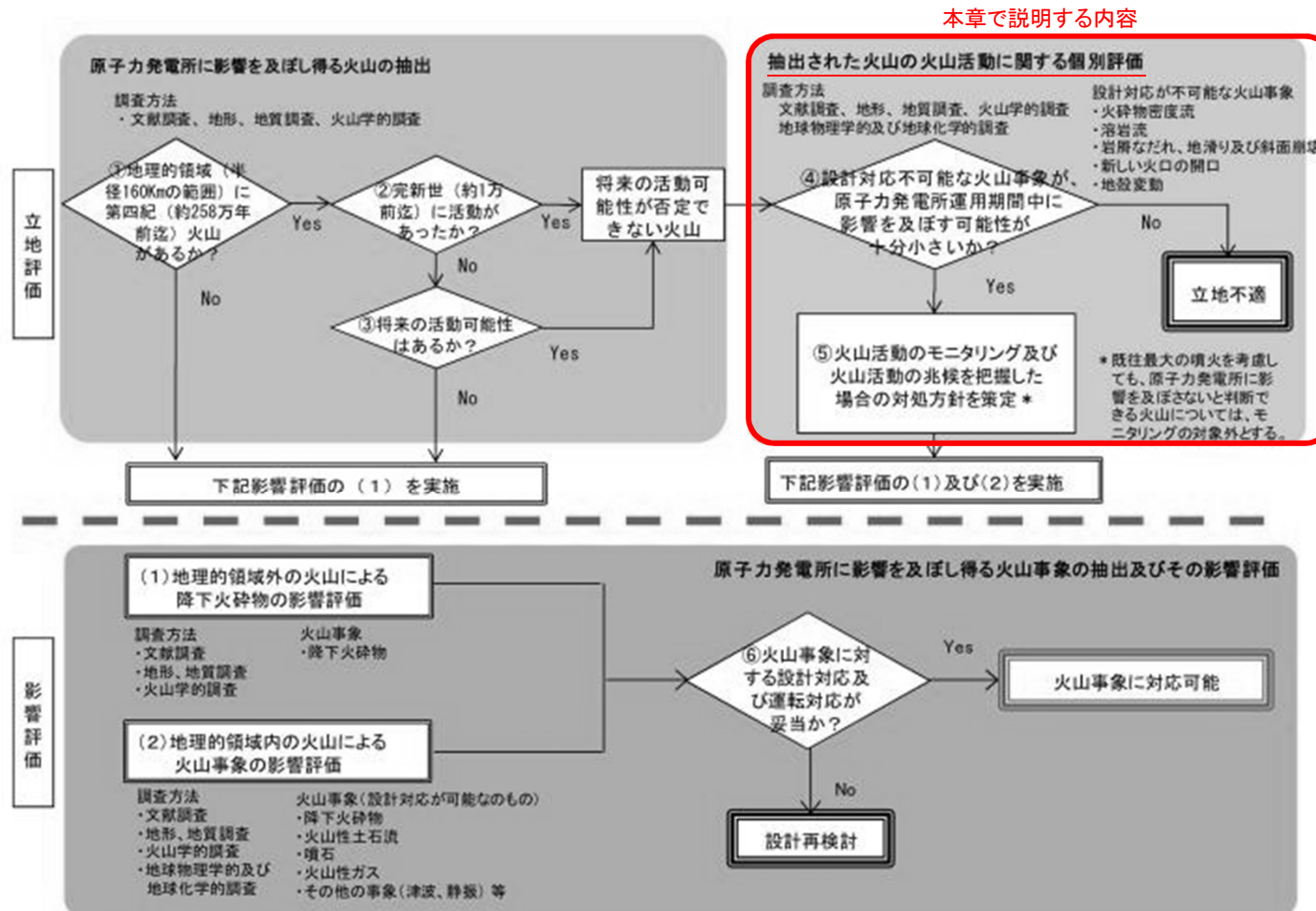


図1 原子力発電所に影響を及ぼす火山影響評価の基本フロー

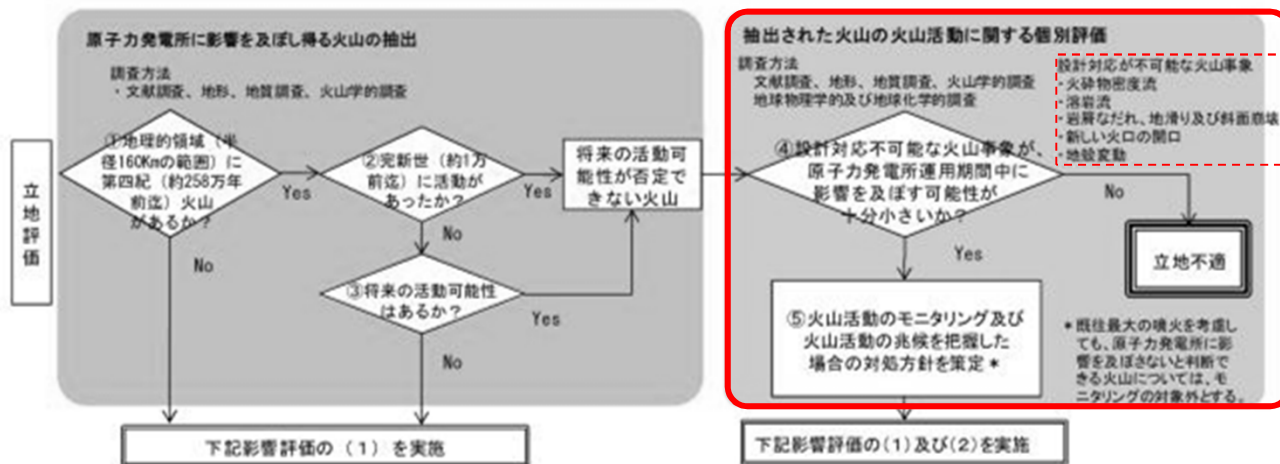
「原子力発電所の火山影響評価ガイド」より抜粋、一部加筆

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



設計対応が不可能な火山事象

表1 原子力発電所に影響を及ぼす可能性のある火山事象及び位置関係

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、大気の高圧、飛来物の衝撃、500℃超の温度、腐蝕性粒子、毒性ガス	100km
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、大気の高圧、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、水中の研磨粒子	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、ガスの充満した罐、水の汚染	100km
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. 津波及び砕板	水の巨量	注4
10. 大気現象	動的な高圧、落雷、ダウンバースト風	注4
11. 地盤変動	地盤変動、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	継続的振動、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、沈降又は湧昇、熱水噴出、地滑り、カルスト及びサーモカルストの変質、水圧の急変	注4

(参考資料: IAEA, SSG 21 及び JEAG4023)

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。

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。

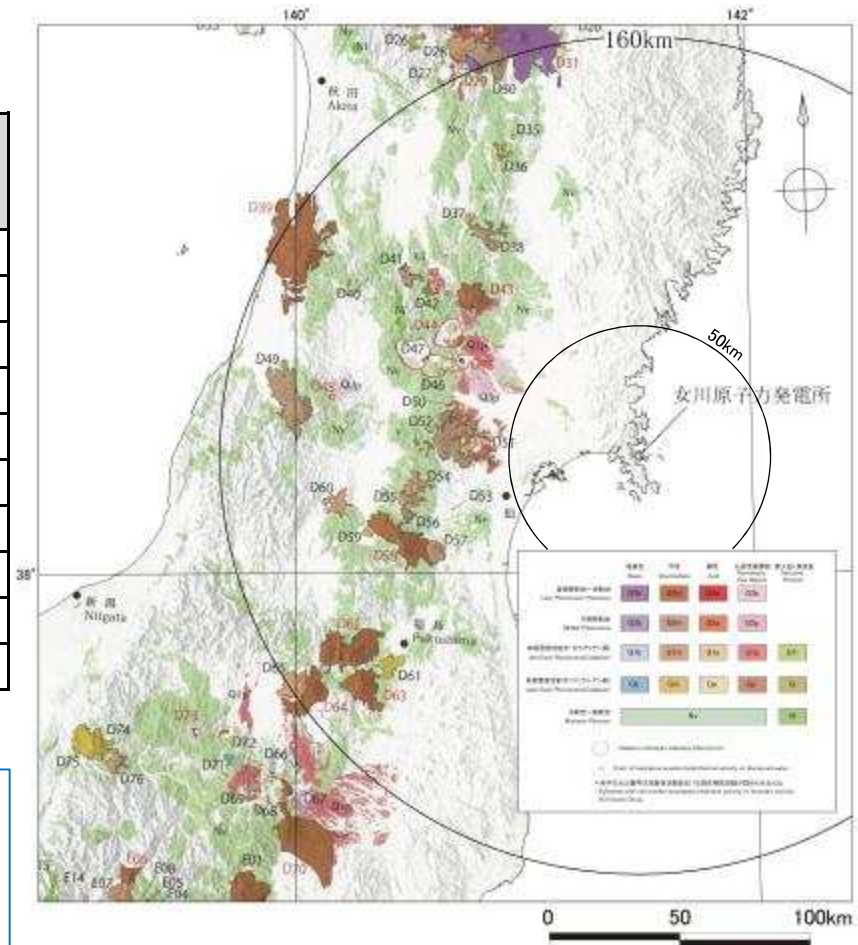
原子力発電所に影響を及ぼし得る火山と検討すべき設計対応不可能な火山事象

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。

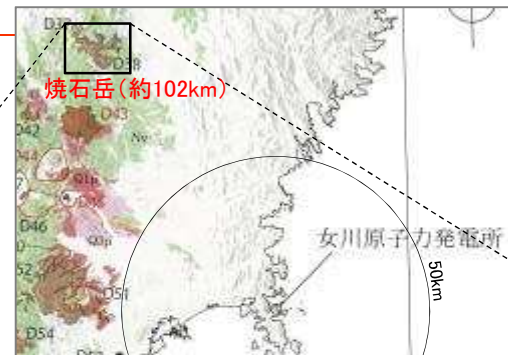


敷地を中心とする半径160kmの範囲の火山地質図
(中野ほか編(2013)による)

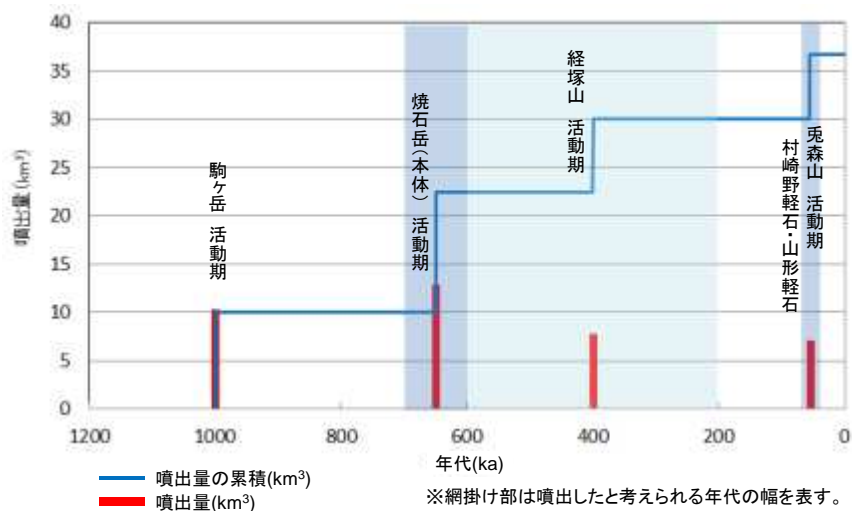
2. 抽出された火山の火山活動に関する個別評価 【焼石岳の活動履歴及び火砕物密度流に関する評価】

焼石岳の火砕物密度流に関する評価

火山名	焼石岳
敷地からの距離	約102km
火山の形式/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兎森山等の活動期(5～6万年前)に発生。 ➢ 火砕物密度流は報告されていない。
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。



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)



焼石岳の噴出量一年代階段ダイヤグラム

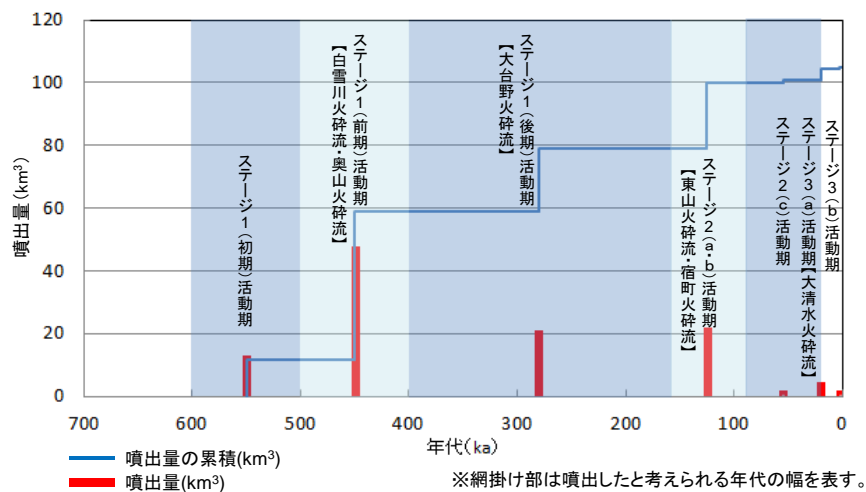
上表及び噴出量一年代階段ダイヤグラムは、第四紀火山カタログ委員会編(1999)及び照井・瀬川(1994)等の文献調査の結果を基に東北電力が独自に作成したものである。

2. 抽出された火山の火山活動に関する個別評価

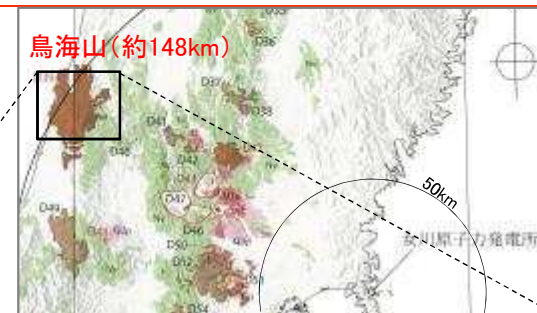
【鳥海山の活動履歴及び火砕物密度流に関する評価】

鳥海山の火砕物密度流に関する評価

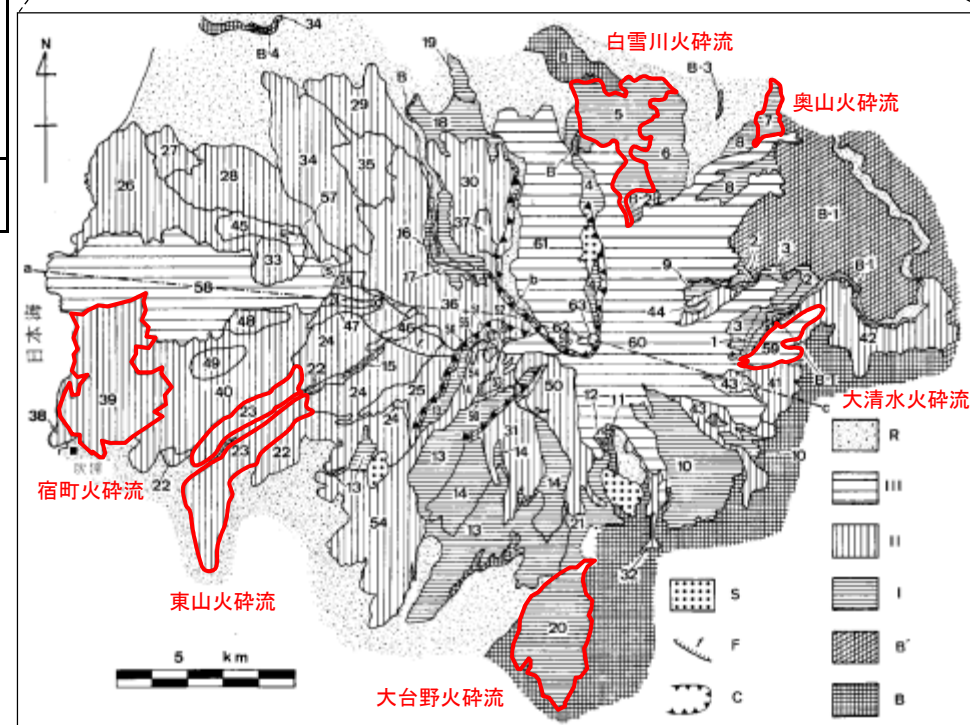
火山名	鳥海山
敷地からの距離	約148km
火山の形式/タイプ	複成火山、溶岩ドーム/溶岩卓越タイプ
活動年代	約60万年前～AD1974年
概要	鳥海山(標高:2,237m)は、秋田県と山形県の県境に位置し、多量の溶岩とそれに伴う少量の火砕岩からなる成層火山で、溶岩地形の凹凸が著しく、2つの馬蹄形カルデラを持つ。大部分の噴出物は安山岩質であり、少量の玄武岩を伴う。
噴出物	<ul style="list-style-type: none"> 最大噴出量は約47km³、古期成層火山活動期(40～50万年前)に噴出。 最新の噴火活動は、泥流・降灰を伴った小規模水蒸気噴火で1974年に発生。 火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



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)



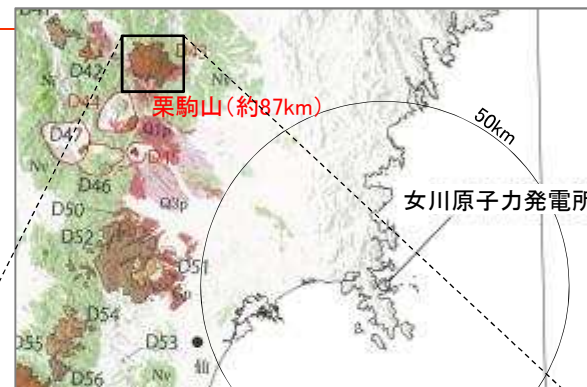
鳥海山火山地質図(林(1984)に一部加筆)

上表及び噴出量一年代階段ダイアグラムは、林(1984)及び伴他(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。

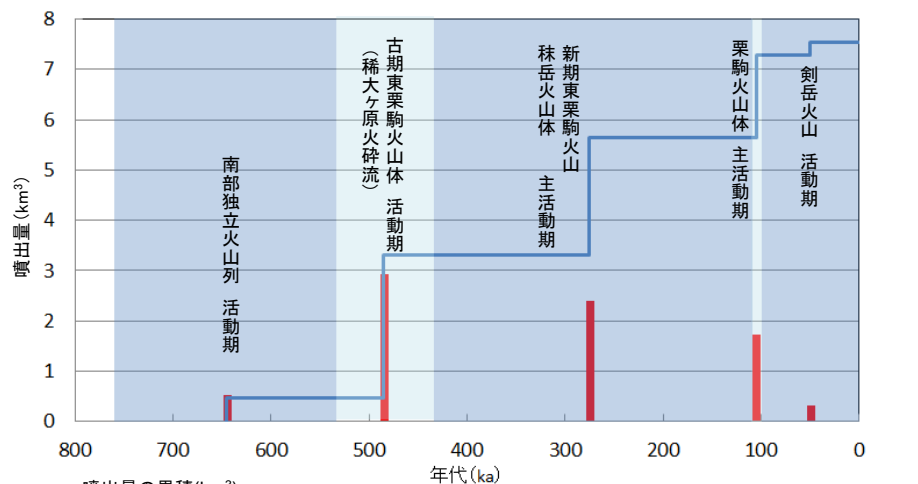
2. 抽出された火山の火山活動に関する個別評価 【栗駒山の活動履歴及び火砕物密度流に関する評価】

栗駒山の火砕物密度流に関する評価

火山名	栗駒山
敷地からの距離	約87km
火山の形式/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。
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。

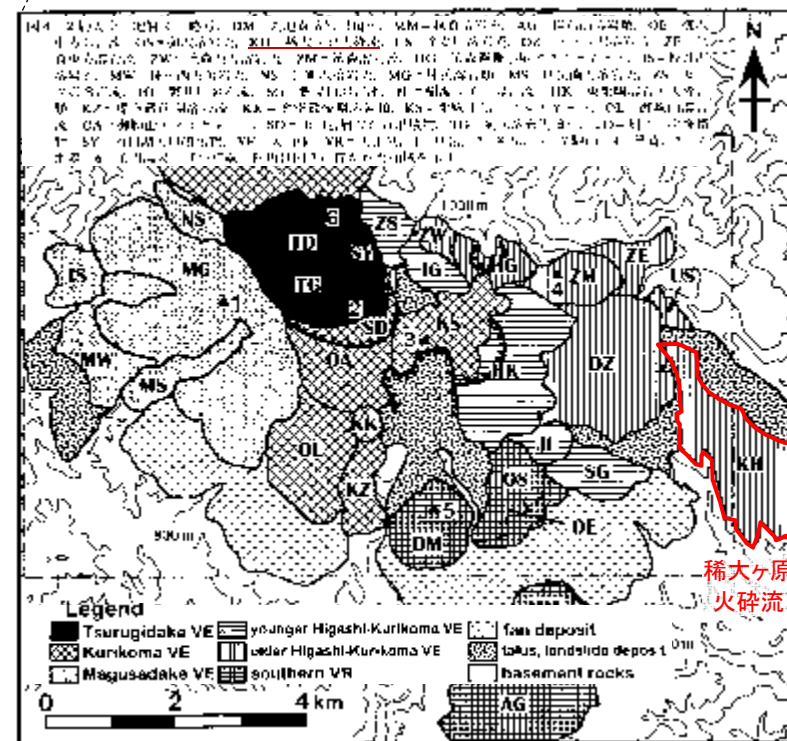


敷地を中心とする半径160kmの範囲の火山地質図(中野ほか編(2013)による)



※網掛け部は噴出したと考えられる年代の幅を表す。

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(藤縄他(2001)に一部加筆)

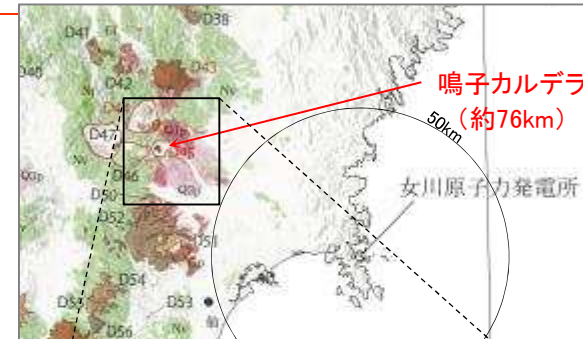
上表及び噴出量一年代階段ダイヤグラムは、藤縄他(2001)等の文献調査の結果を基に東北電力が独自に作成したものである。

(余白)

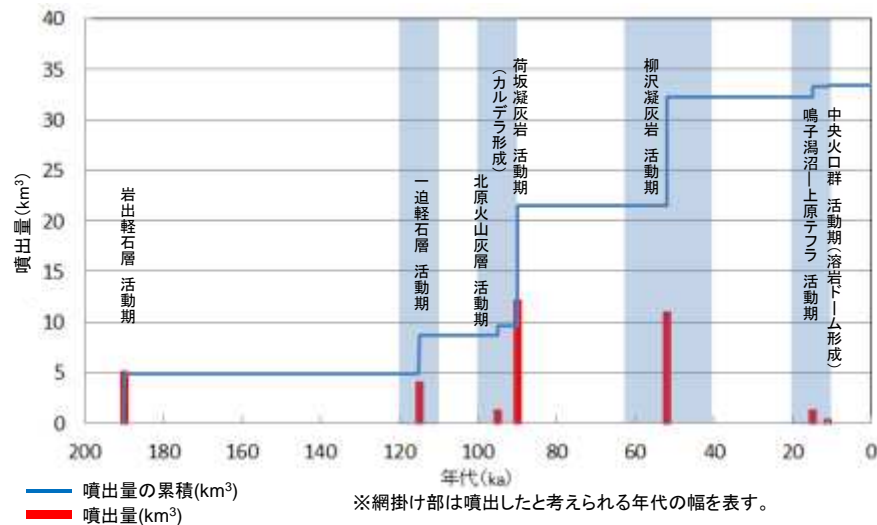
2. 抽出された火山の火山活動に関する個別評価 【鳴子カルデラの活動履歴及び火砕物密度流に関する評価】

鳴子カルデラの火砕物密度流に関する評価

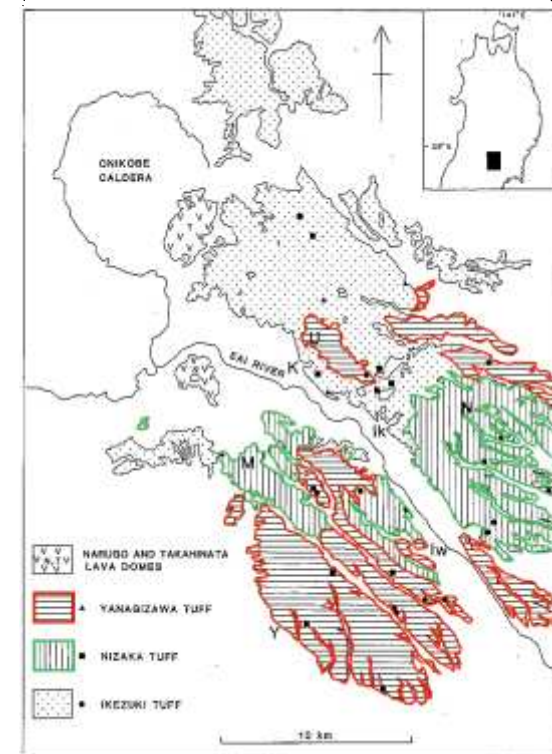
火山名	鳴子カルデラ
敷地からの距離	約76km
火山の形式/タイプ	カルデラ、溶岩ドーム/降下火砕物卓越タイプ
活動年代	約19万年前～AD837
概要	鳴子カルデラは、宮城県北西部に位置し、直径約7kmの不鮮明な輪郭をもつカルデラとその中央部の溶岩ドーム群からなる。デイサイトの4つの溶岩ドームが一線をなし、それらに囲まれた酸性の火口湖・潟沼の内外やその西側の溶岩ドームの壁では噴気活動が盛んである。
噴出物	<ul style="list-style-type: none"> 最大噴出量は約11.91km³、カルデラ形成期(約9万年前)に噴出。 最新の噴火活動は、水蒸気噴火で837年に発生。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



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)



鳴子カルデラの噴出量-年代階段ダイアグラム

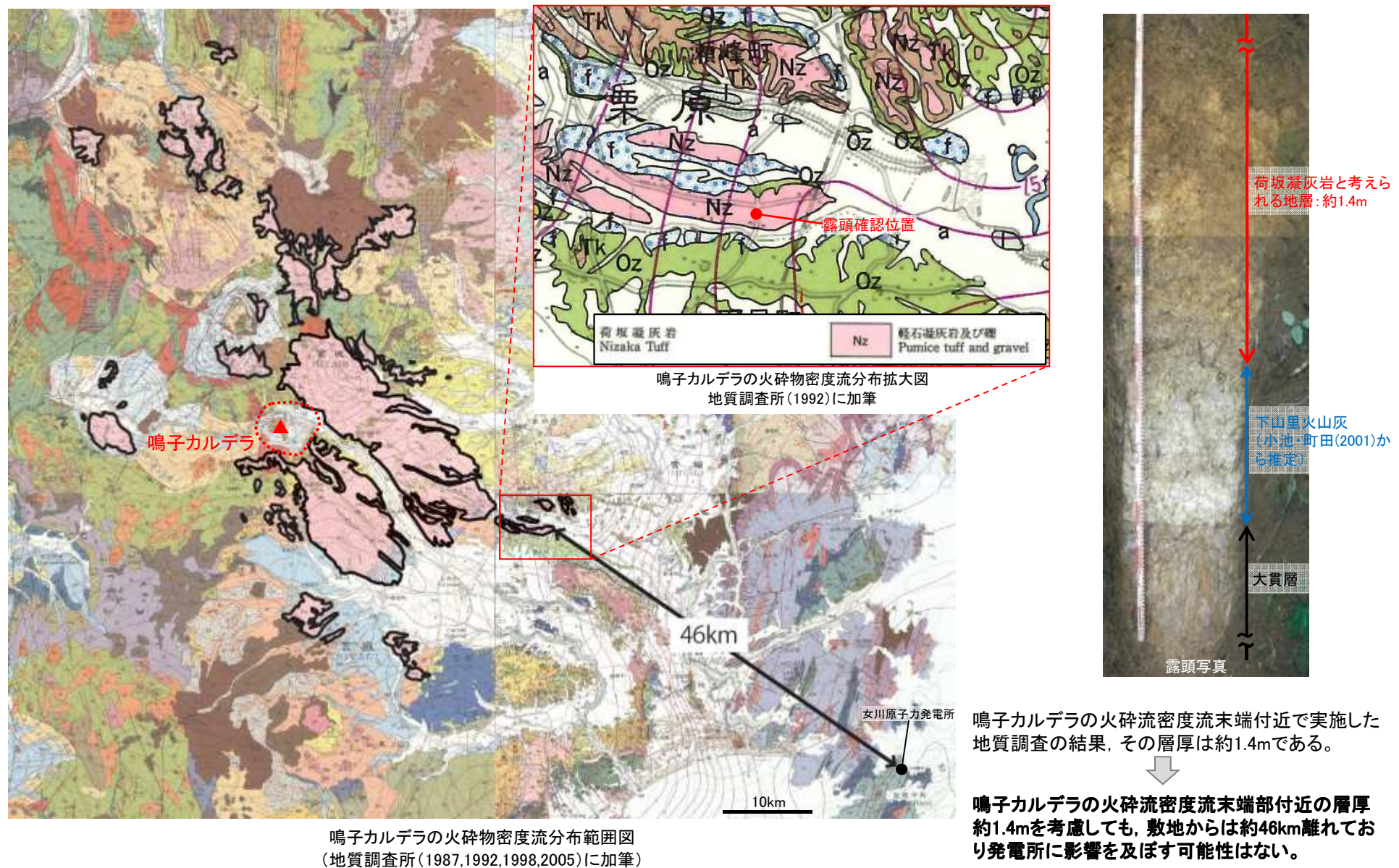


池月凝灰岩・荷坂凝灰岩・柳沢凝灰岩の分布図 (阪口・山田(1988)に加筆)

上表及び噴出量-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分布】

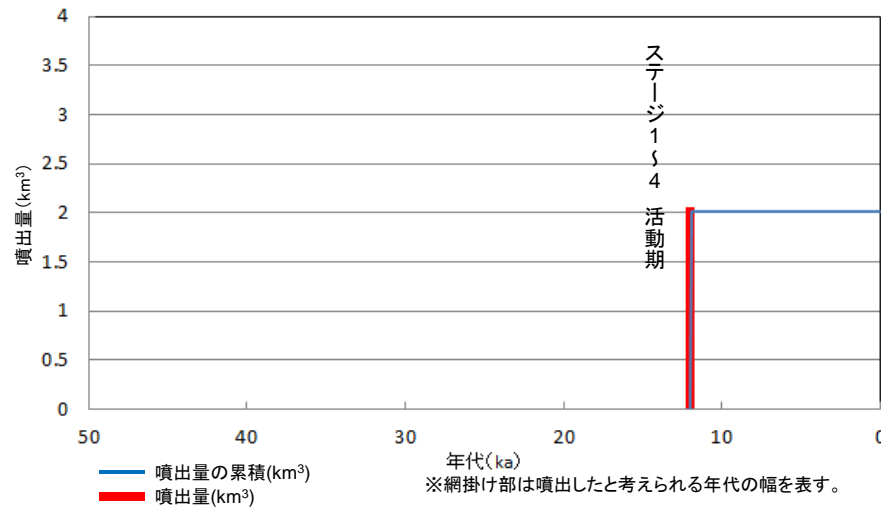


2. 抽出された火山の火山活動に関する個別評価

【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】

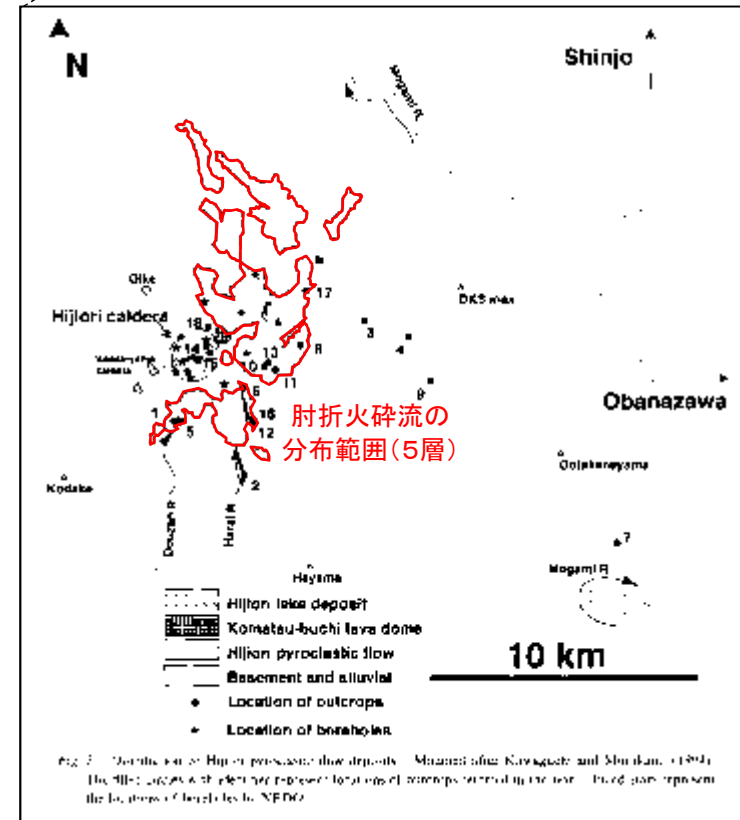
肘折カルデラの火砕物密度流に関する評価

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。
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-年代階段ダイアグラム

上表及び噴出量-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。

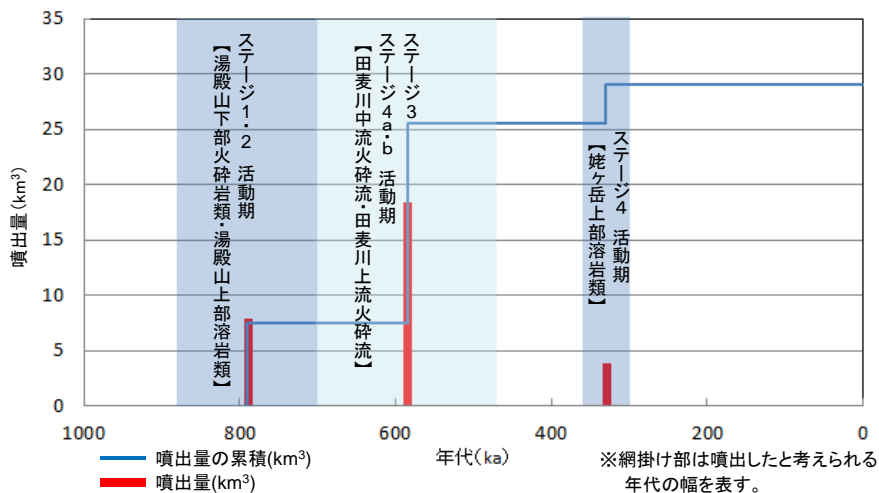


肘折火砕流堆積物の分布図(宮城(2007)に一部加筆)

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】

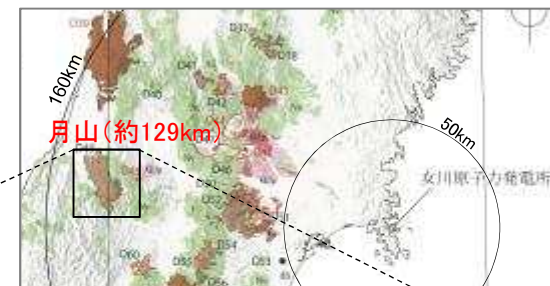
月山の火砕物密度流に関する評価

火山名	月山
敷地からの距離	約129km
火山の形式/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合成層火山である。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。
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。

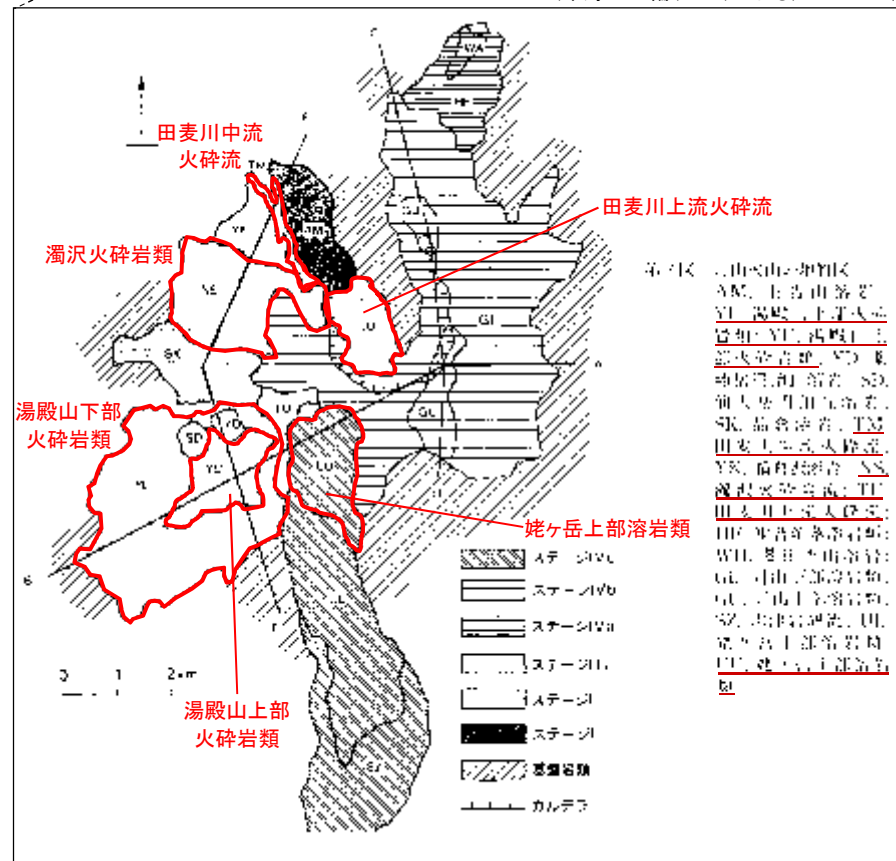


月山の噴出量-年代階段ダイアグラム

上表及び噴出量-年代階段ダイアグラムは、中里他(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。



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)



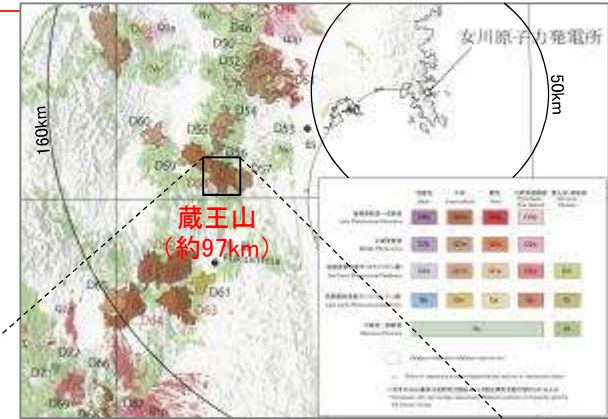
月山火山の地質図(中里他(1996)に一部加筆)

2. 抽出された火山の火山活動に関する個別評価

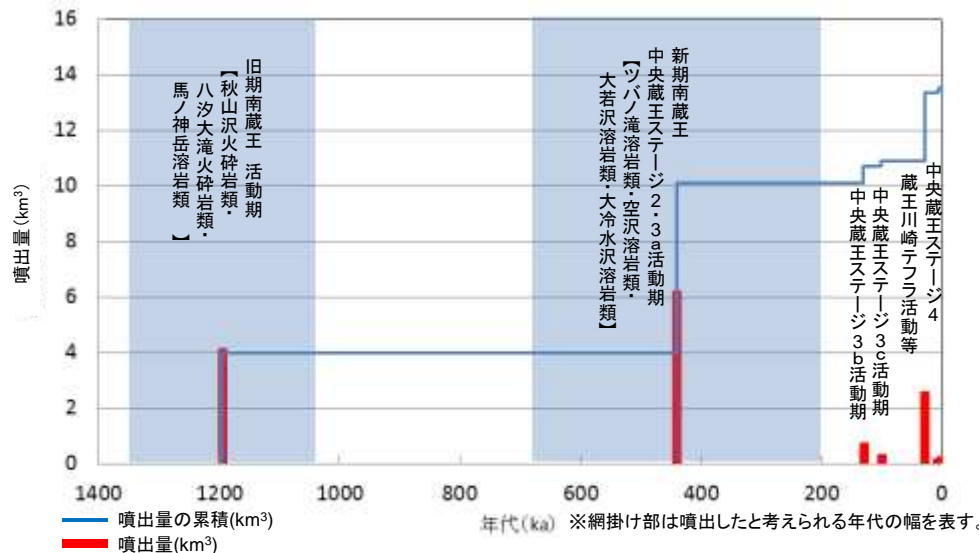
【蔵王山の活動履歴及び火砕物密度流に関する評価】

蔵王山の火砕物密度流に関する評価

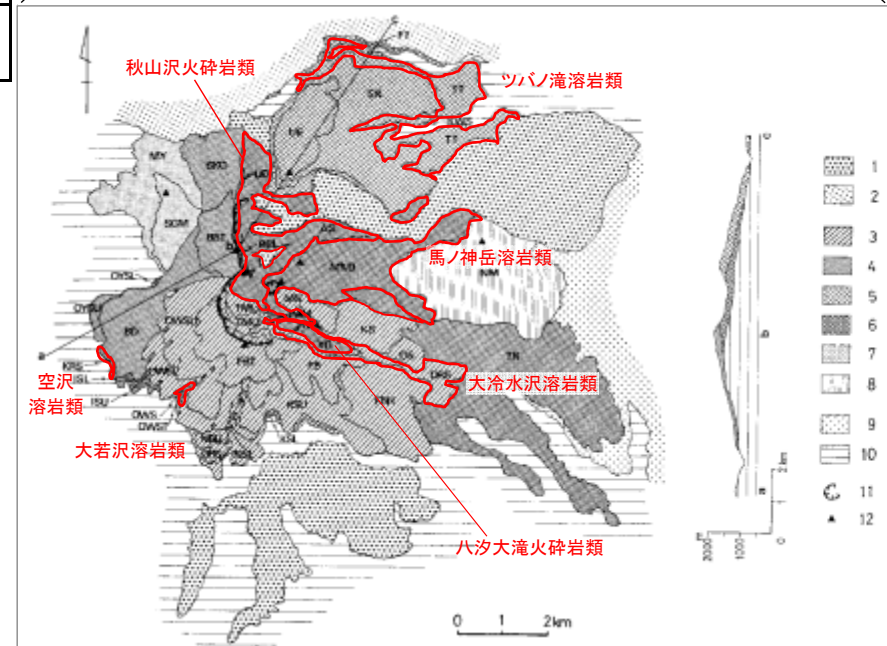
火山名	蔵王山
敷地からの距離	約97km
火山の形式/タイプ	複成火山, 火口丘/溶岩・火砕岩タイプ
活動年代	約135万年前～AD1940年
概要	蔵王山(熊野岳: 標高1840m)は, 山形県と宮城県の間境に位置する火山群の総称である。北蔵王(瀧山), 中央蔵王(熊野岳等), 南蔵王(不忘山等)等に分けられる。玄武岩～安山岩の成層火山で, 有史以降も主に御釜を噴出口とする活動が確認されている。
噴出物	<ul style="list-style-type: none"> ➢ 最大噴出量は約6.1km³, 南蔵王および中央蔵王ステージ3a期(20～68万年前)に噴出。 ➢ 最新の噴火活動は, 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。
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。



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)



蔵王山の噴出量一年代階段ダイヤグラム



南蔵王地質図(酒寄(1985)に一部加筆)

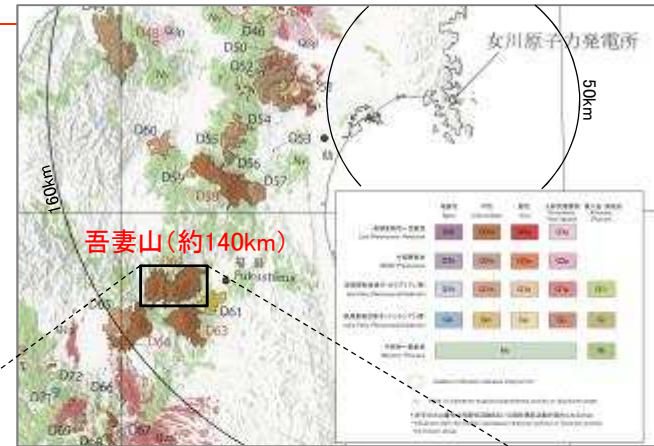
上表及び噴出量一年代階段ダイヤグラムは, 酒寄(1985)及び酒寄(1992)等の文献調査の結果を基に東北電力が独自に作成したものである。

2. 抽出された火山の火山活動に関する個別評価

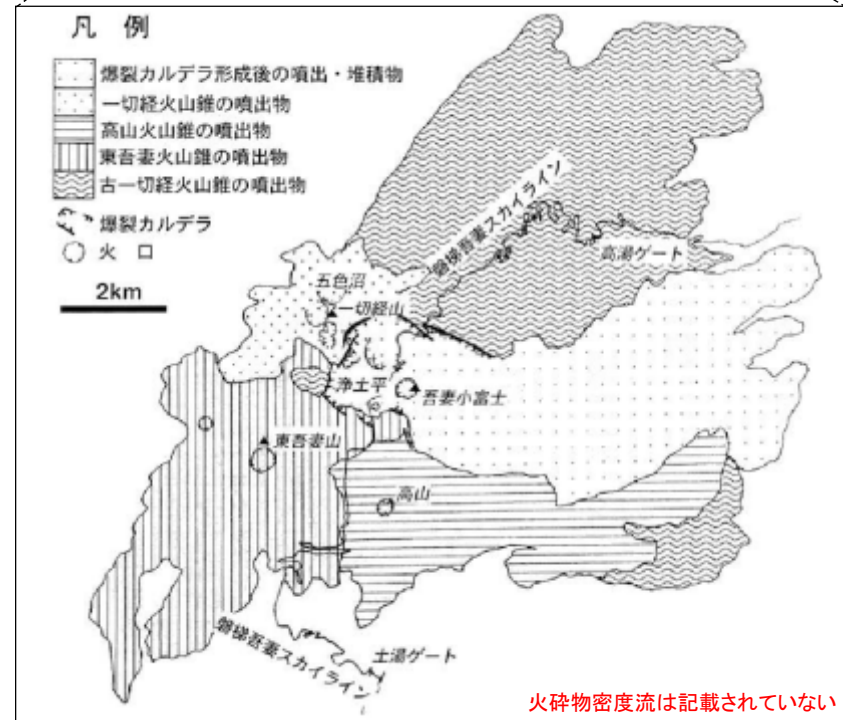
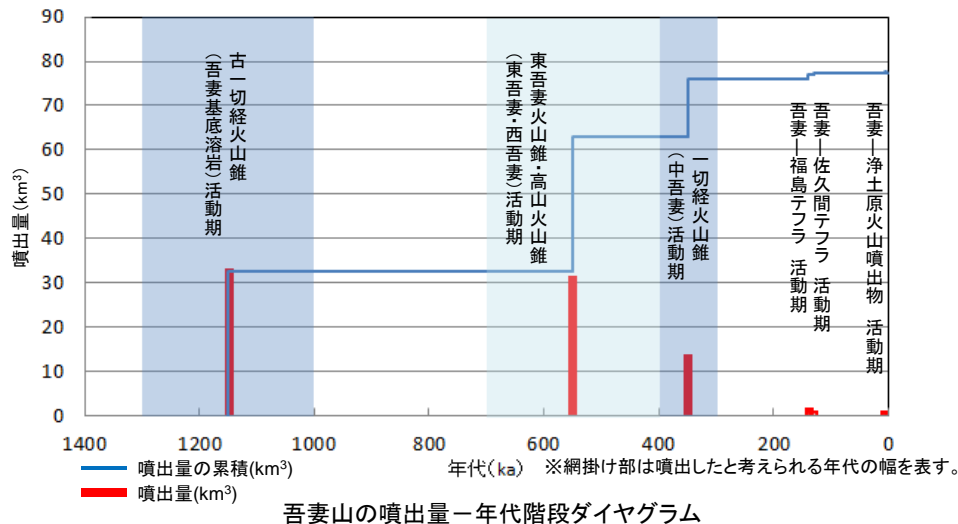
【吾妻山の活動履歴及び火砕物密度流に関する評価】

吾妻山の火砕物密度流に関する評価

火山名	吾妻山
敷地からの距離	約140km
火山の形式・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。
評価	仮に噴出物が火砕物密度流と考えても、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。



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)



火砕物密度流は記載されていない

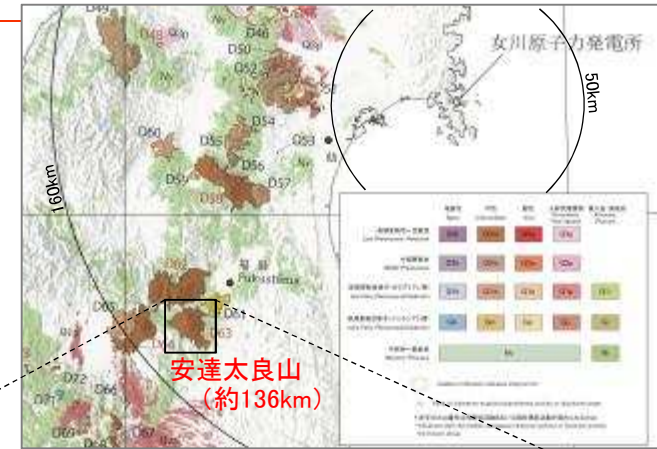
吾妻山地質図(藤縄・鴨志田(1999)に一部加筆)

上表及び噴出量一年代階段ダイアグラムは、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。

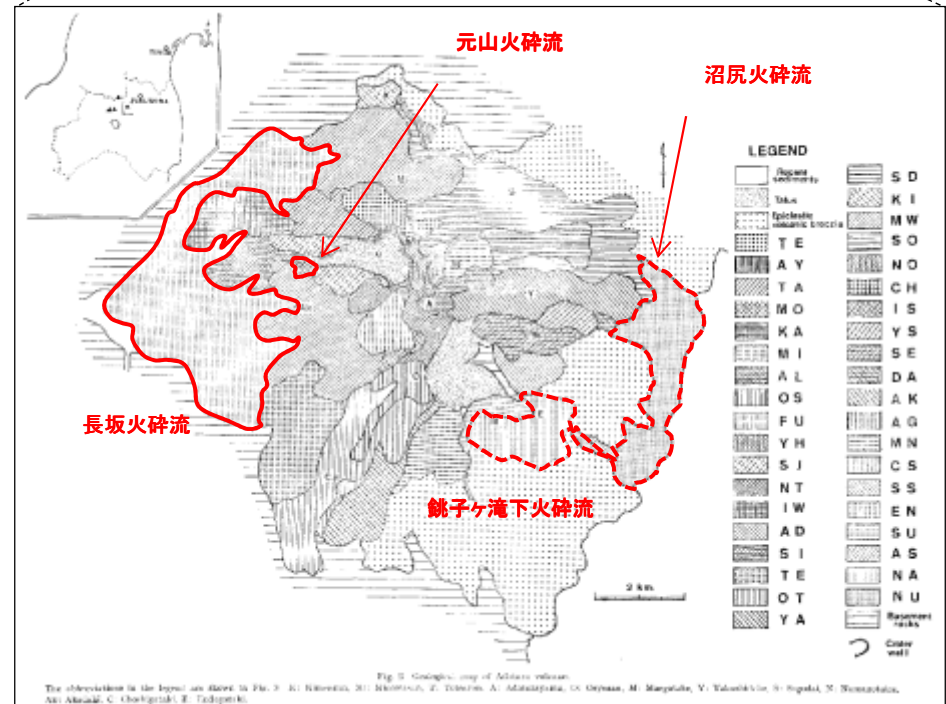
2. 抽出された火山の火山活動に関する個別評価 【安達太良山の活動履歴及び火砕物密度流に関する評価】

安達太良山の火砕物密度流に関する評価

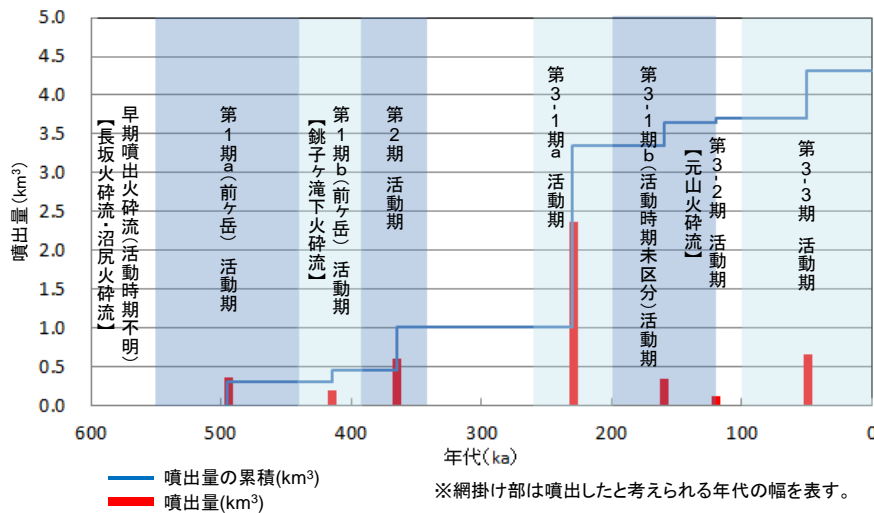
火山名	安達太良山
敷地からの距離	約136km
火山の形式・タイプ	複成火山／溶岩卓越タイプ
活動年代	約55万年前～AD1900
概要	安達太良山は、福島市の南西に位置する玄武岩～安山岩の成層火山群である。主峰の安達太良本峰の山頂部には西に開く沼ノ平火口がある。この火口の内外には、噴気・温泉地帯が存在する。
噴出物	<ul style="list-style-type: none"> ➢ 最大噴出量は約2.33km³、第3-1期(20～26万年前)に噴出。 ➢ 最新の噴火活動は、低温サーージや降下火砕物を伴った中規模水蒸気噴火で1900年に発生。 ➢ 火砕物密度流は、4層確認されており、分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



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)



安達太良火山地質図(藤縄(1980)に一部加筆)



安達太良山の噴出量一年代階段ダイヤグラム

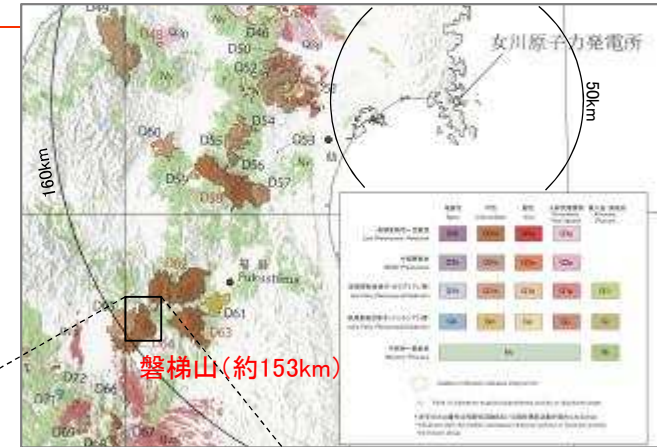
上表及び噴出量一年代階段ダイヤグラムは、藤縄(1980)及び藤縄・鎌田(2005)等の文献調査の結果を基に東北電力が独自に作成したものである。

2. 抽出された火山の火山活動に関する個別評価

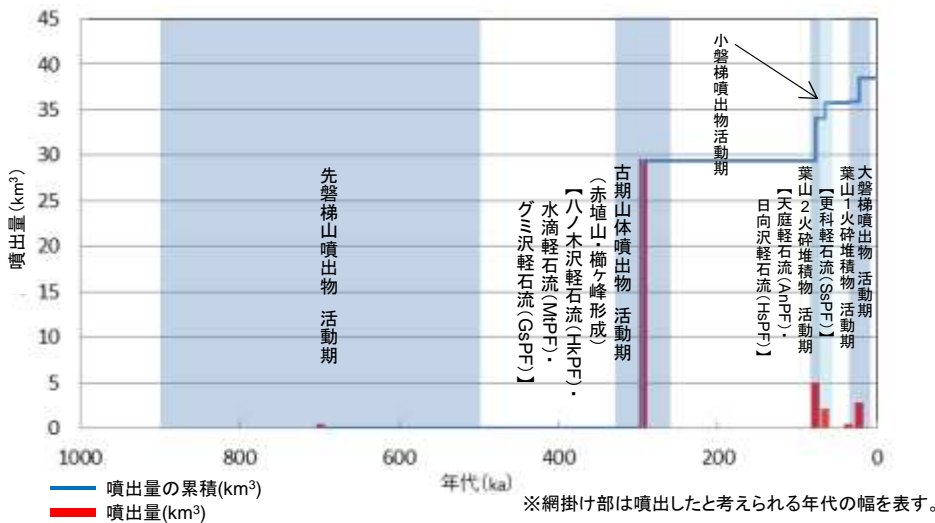
【磐梯山の活動履歴及び火砕物密度流に関する評価】

磐梯山の火砕物密度流に関する評価

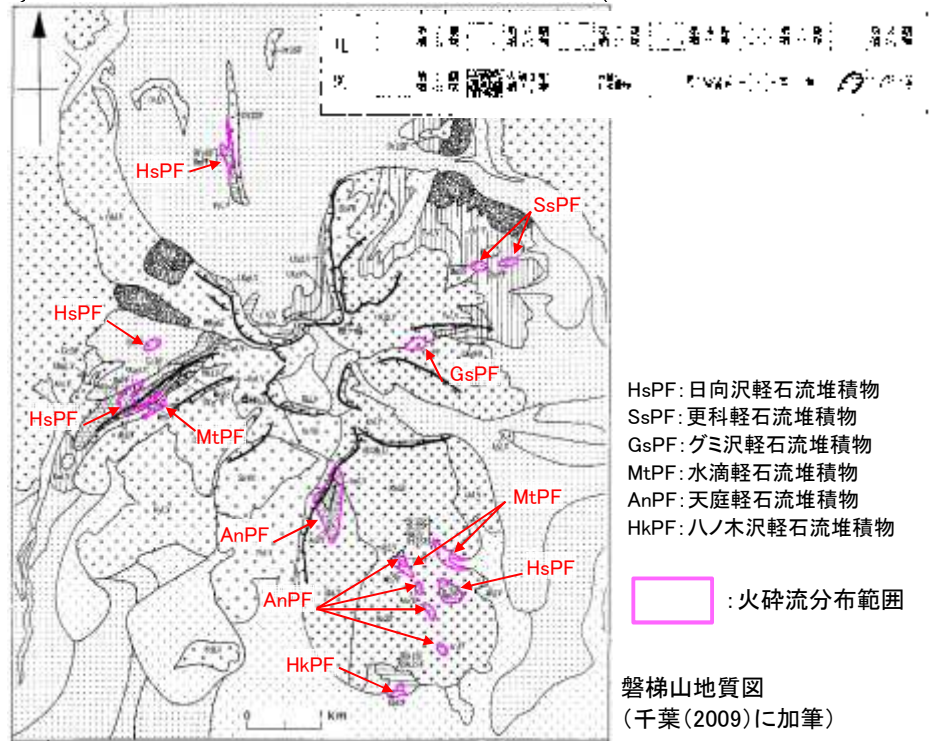
火山名	磐梯山
敷地からの距離	約153km
火山の形式・タイプ	複成火山／溶岩・火砕岩タイプ
活動年代	約90万年前～AD1888
概要	磐梯山は、福島県猪苗代湖の北に位置する安山岩質の成層火山である。赤埴山、大磐梯、櫛ヶ峰などが沼ノ平火口を取り囲んで、円錐形火山体が形成されているが、過去に山体崩壊が何度か繰り返され、現在の山容となった。1888年噴火で形成されたカルデラ壁や山頂沼ノ平火口には微弱な噴気孔が点在する。
噴出物	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 最大噴出量は29.25km³、古期活動期(23～30万年前)に噴出。 ▶ 最新の噴火活動は、山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



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)



磐梯山の噴出量－年代階段ダイヤグラム



上表及び噴出量－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のより前弧側(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。
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. 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。

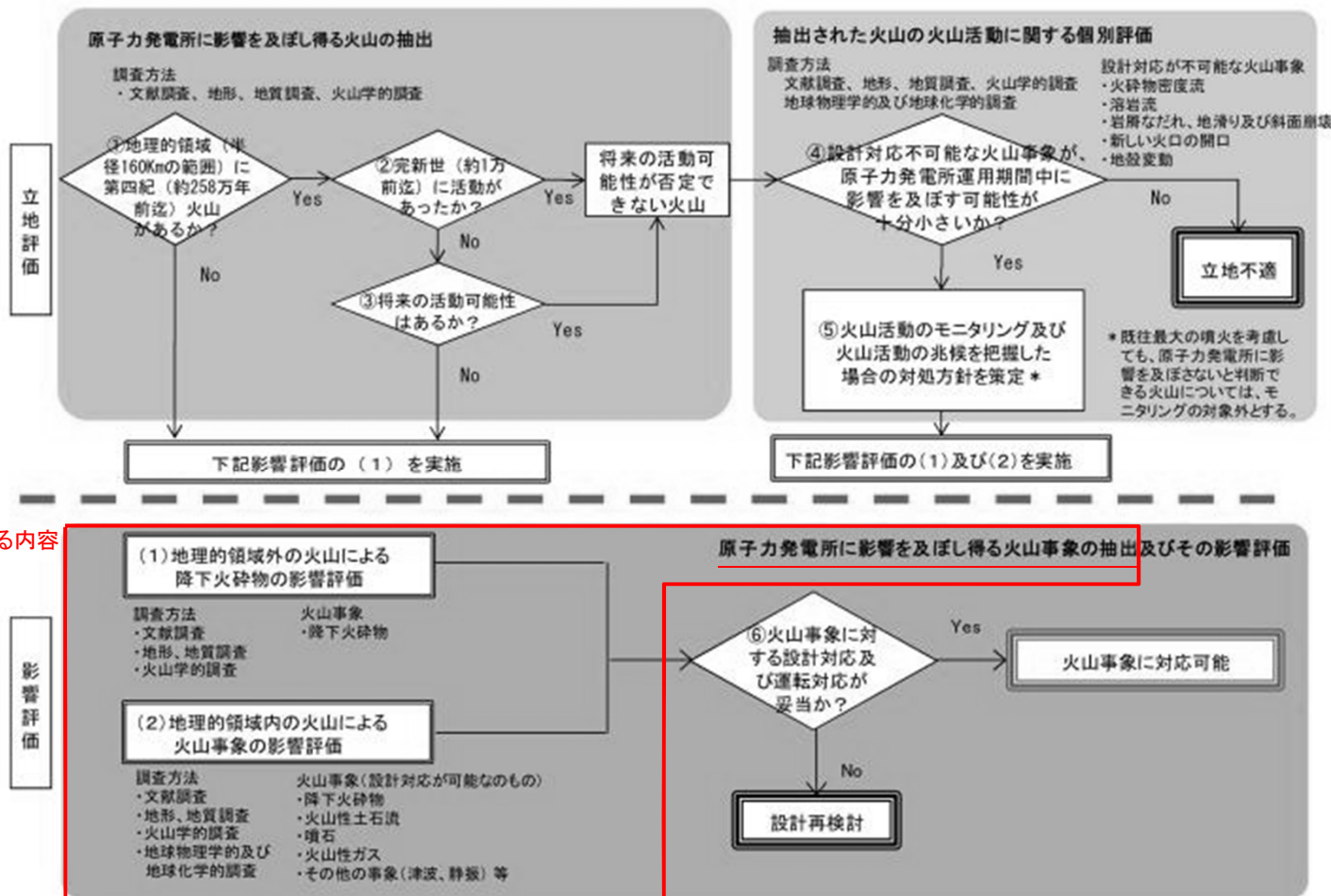
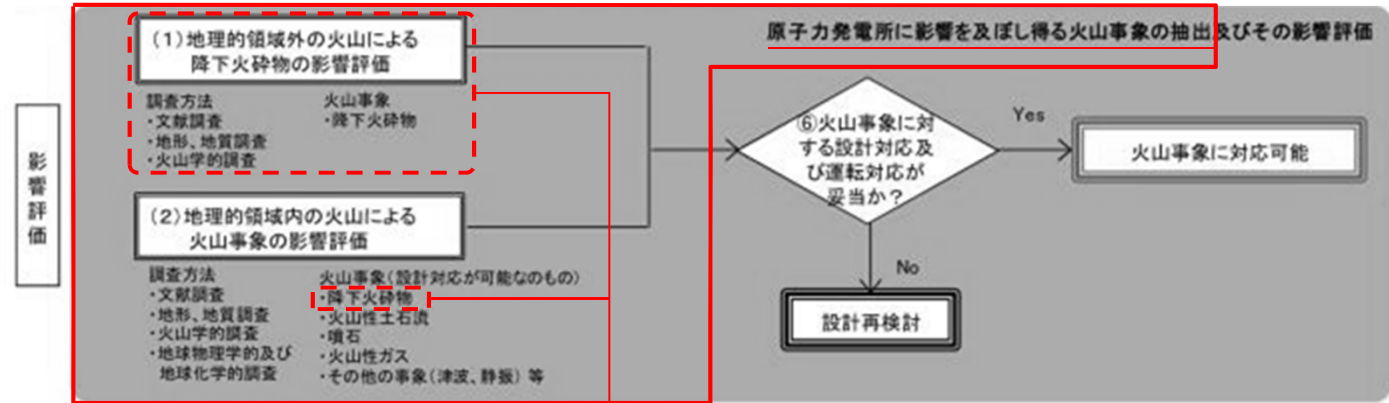


図1 原子力発電所に影響を及ぼす火山影響評価の基本フロー

「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



- 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。

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

表1 原子力発電所に影響を及ぼす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、水中の研磨粒子	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、ガスの充満した罐、水の汚染	160km
8. 新しい火口の開閉	動的な物理的負荷、地震変動、火山性地震	注3
9. 津波及び静振	水の揺動	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	地震変動、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	継続的振動、多重衝撃	注4
13. 熱水活及び地下水異常	熱水、腐食性水、水の汚染、起震又は誘発、熱水噴出、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JEAG4025)

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。

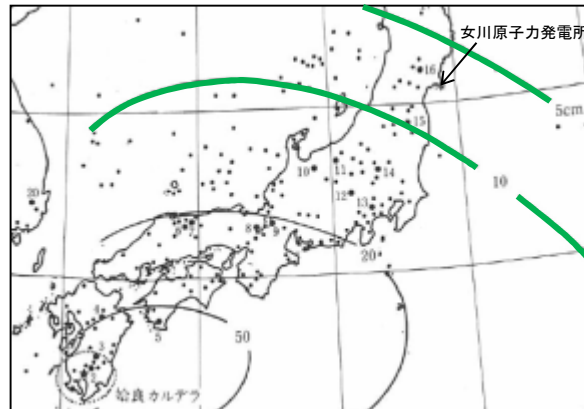
3. 原子力発電所に影響を及ぼし得る火山事象の抽出

3.1 降下火砕物の影響評価【文献調査①-1】

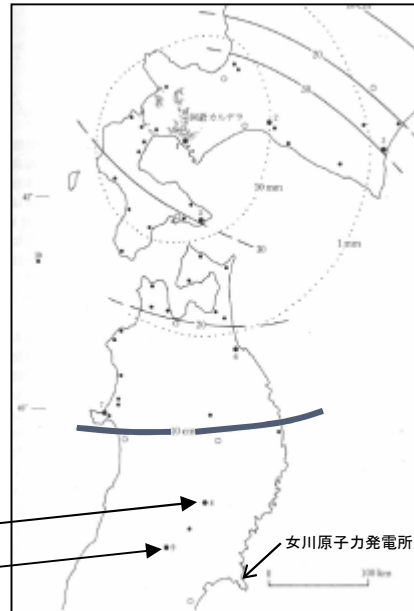
【文献調査結果(広域)】

- 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。

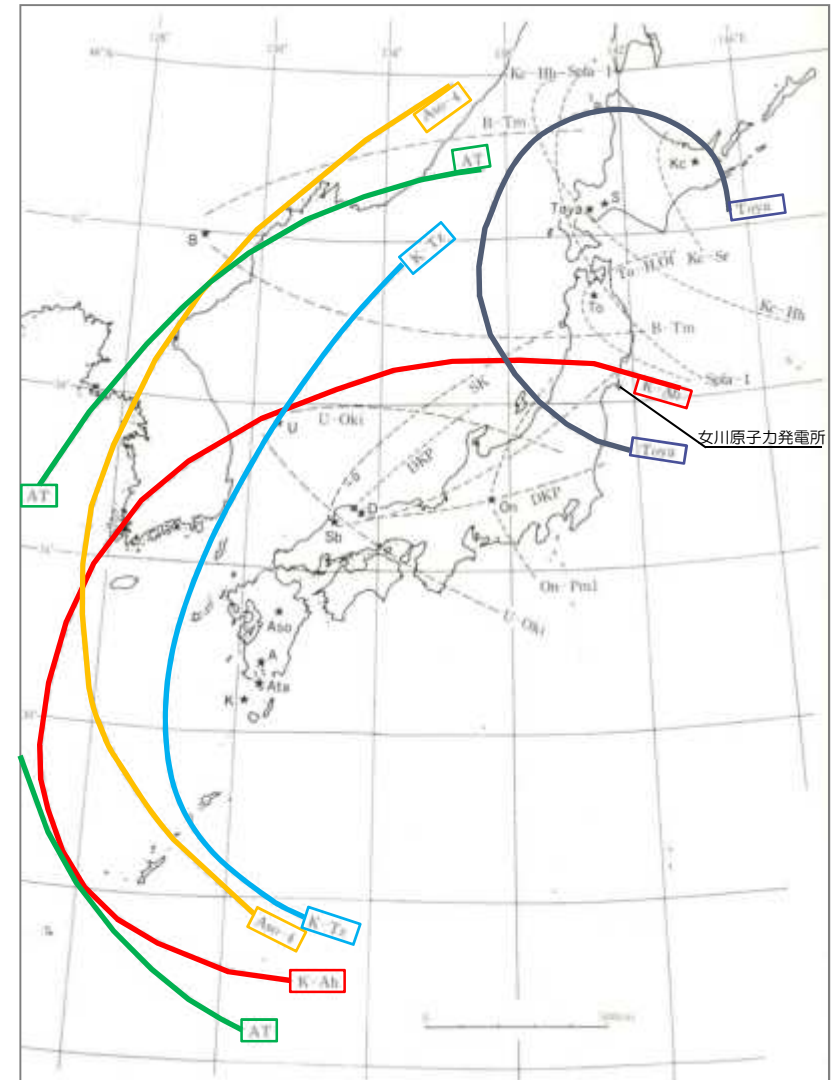
テフラ名		女川地点の評価
K-Ah	鬼界アカホヤテフラ	町田・新井(2003)によると、ほぼ0cm
K-Tz	鬼界葛原テフラ	町田・新井(2003)によると、2cm以下
AT	始良Tnテフラ	町田・新井(2003)によると、5~10cm
Toya	洞爺テフラ	町田・新井(2003)によると、10cm以下
Aso-4	阿蘇4テフラ	町田(1985)によると、数cm



始良Tn火山灰(AT)の等層厚線図(町田・新井(2003)に一部加筆)



洞爺火山灰(Toya)の等層厚線図
(町田・新井(2003)に一部加筆)



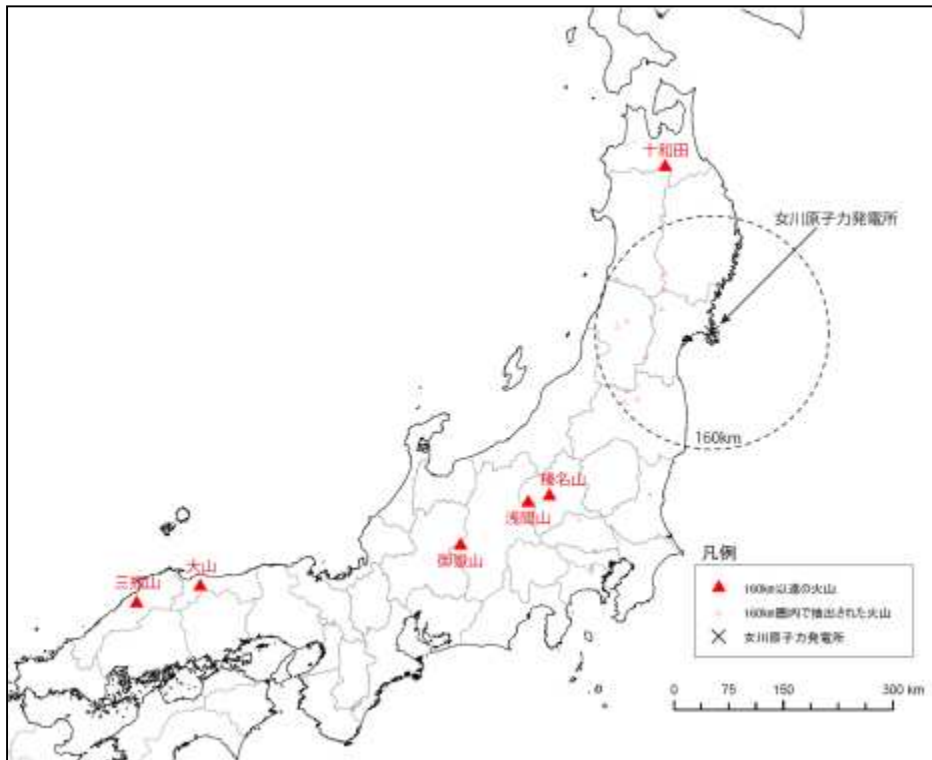
広域テフラ分布(町田・新井(2003)に一部加筆)

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【文献調査①-2】

【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
	To-Cu	十和田中掬
榛名山	Hr-FP	榛名二ツ岳伊香保
浅間山	As-A	浅間 A(天明)
	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
大山	DKP	大山倉吉
三瓶山	SK	三瓶木次

※ 評価の詳細は、補足説明資料p25-34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【文献調査②-1】

【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)、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 図 石巻平野の地形と調査地点。黒田(1991)と地理院発行「2万5千分の1地形図」(国土地理院)の資料「(2002) 全地形図」(「Yamanakazaki, "Yamabaki" and "Yama")」, published by Geographical Survey of Institute.
石巻平野での津波堆積物調査(穴倉ほか(2007))

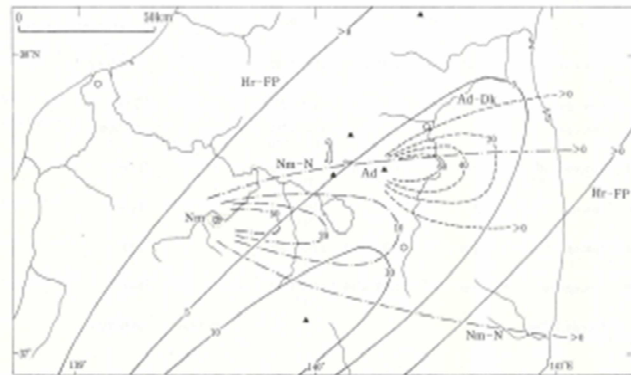


図 3.4-1 東北地方南部の主要テフラの等層厚線図。
Hr-FP 榛名二ツ岳伊香保¹⁾ Nn-N 沼沢湖 (pHの分布も示す)²⁾ Ad-Dk 安達太良山³⁾
Nn: 沼沢湖, Ad: 安達太良。
1) Anai et al. (1985), 2) 貝地(貝地)研究グループ(1986a), 3) 山沢・野口(2006)
東北地方南部の主要テフラの等層厚線図(町田・新井(2003))

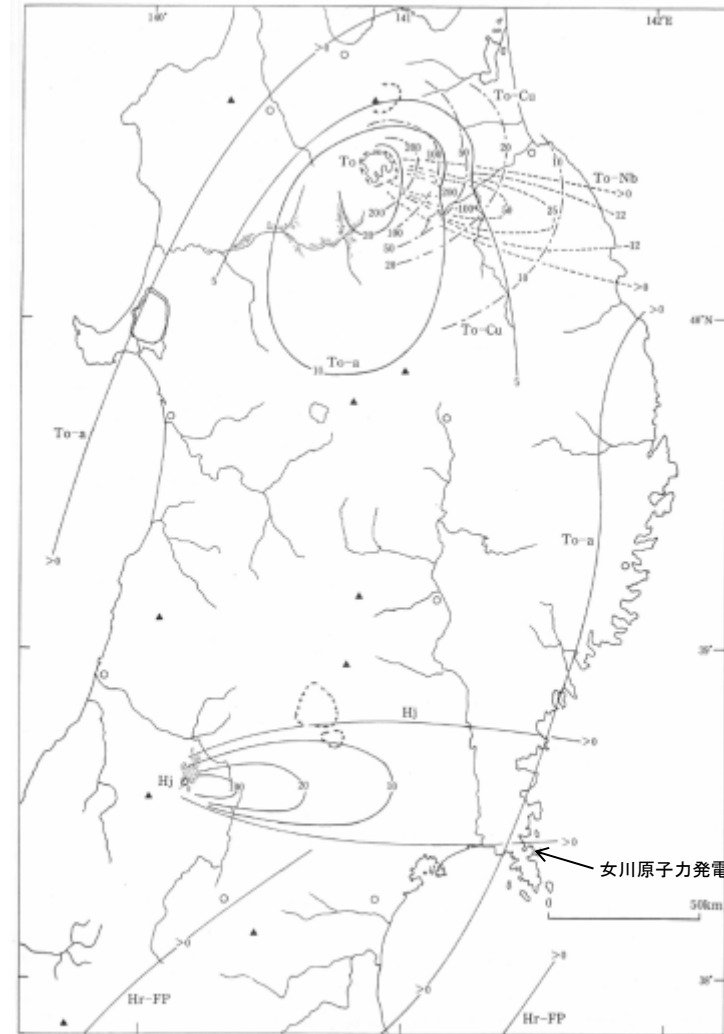


図 3.4-2 東北地方の完新世主要テフラの等層厚線図。
To-a 十和田a (pHの分布も示す)¹⁾ Hr-FP 榛名二ツ岳伊香保²⁾ To-Cu 十和田中郷³⁾
To-Nb 十和田南郷³⁾ Hj 肘折尾花沢 (pHの分布も示す) To: 十和田, Hj: 肘折。
1) 町田ほか(1981a), 2) Anai et al. (1985), 3) Hayakawa (2005)

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【文献調査②-2】

【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。

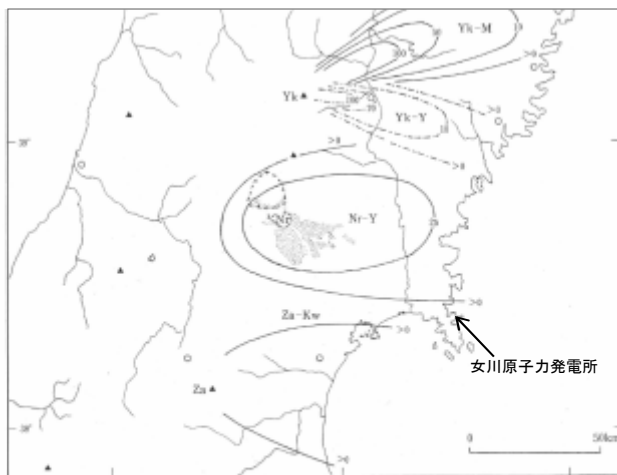


図 3.4-3 東北地方の後期更新世主要テフラの等層厚線図(その1)。
 Ak-Y 横石山影⁽¹⁾ Ak-K 横石山影⁽²⁾ Za-Kw 蔵王川崎⁽³⁾ Yk-Y 横石山影⁽⁴⁾
 Yk-M 横石山影⁽⁵⁾ Nr-Y 鳴子柳沢⁽⁶⁾ (pHの分布も示す) To-G 十和田合河⁽⁷⁾ To-Rd 十和田レイク⁽⁸⁾
 To: 十和田, Iw: 岩手, Ak: 秋田, Yk: 横石, Nr: 鳴子, Za: 蔵王。
 (1) 大上・土井 (1970), (2) Arai et al. (2006), (3) 大上・西野 (1985), (4) 早野 (1989a), (5) 大池・中村 (1970), (6) 横山・大池 (1986), (7) 土井 (1980)

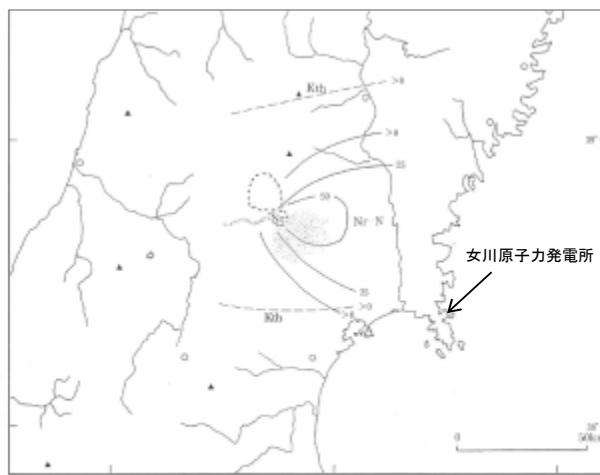


図 3.4-4 東北地方の後期更新世主要テフラの等層厚線図(その2)。
 To-SP 十和田 SP⁽¹⁾ To-Ok 十和田オコシ⁽²⁾ To-QP 十和田QP⁽³⁾ Kw 十和田川⁽⁴⁾
 Iw-Od 西岩手山⁽⁵⁾ Iw-Y 西岩手山⁽⁶⁾ Nr-N 鳴子荷坂 (pHの分布も示す)⁽⁷⁾ Kih 北原⁽⁸⁾
 To: 十和田, Iw: 岩手, Nr: 鳴子。
 (1) 大池・中村 (1970), (2) 横山・大池 (1986), (3) 大上・土井 (1970), (4) 早野 (1989a), (5) 土井 (1980), (6) 土井 (1980), (7) 土井 (1980)



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 十和田アオシ⁽¹⁾ To-CP 十和田カサシ⁽²⁾ ZP2 ザラメ⁽³⁾ Nr-It 鳴子一迫⁽⁴⁾
 Ac-Md 安達愛島⁽⁵⁾ To: 十和田, Nr: 鳴子, Ac: 安達。
 (1) 大池・中村 (1970), (2) 横山・大池 (1986), (3) 早野 (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

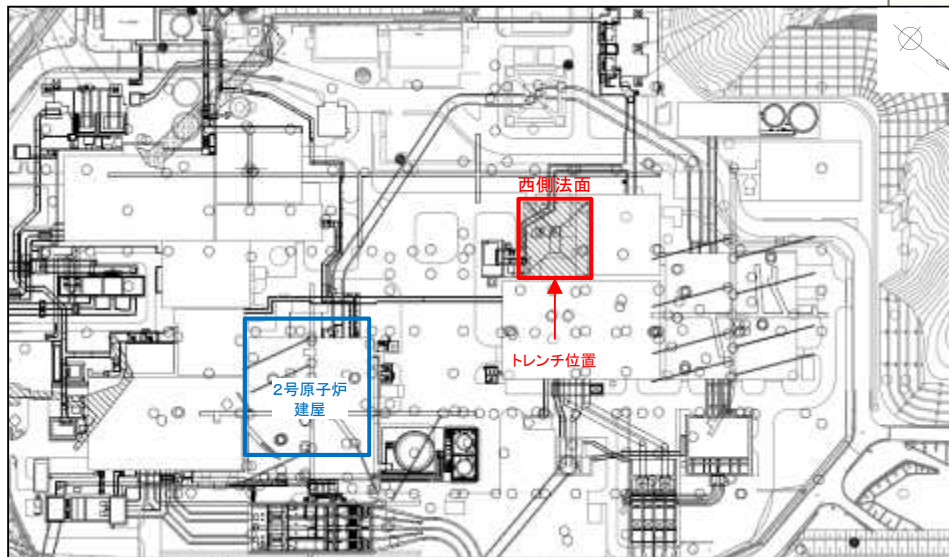
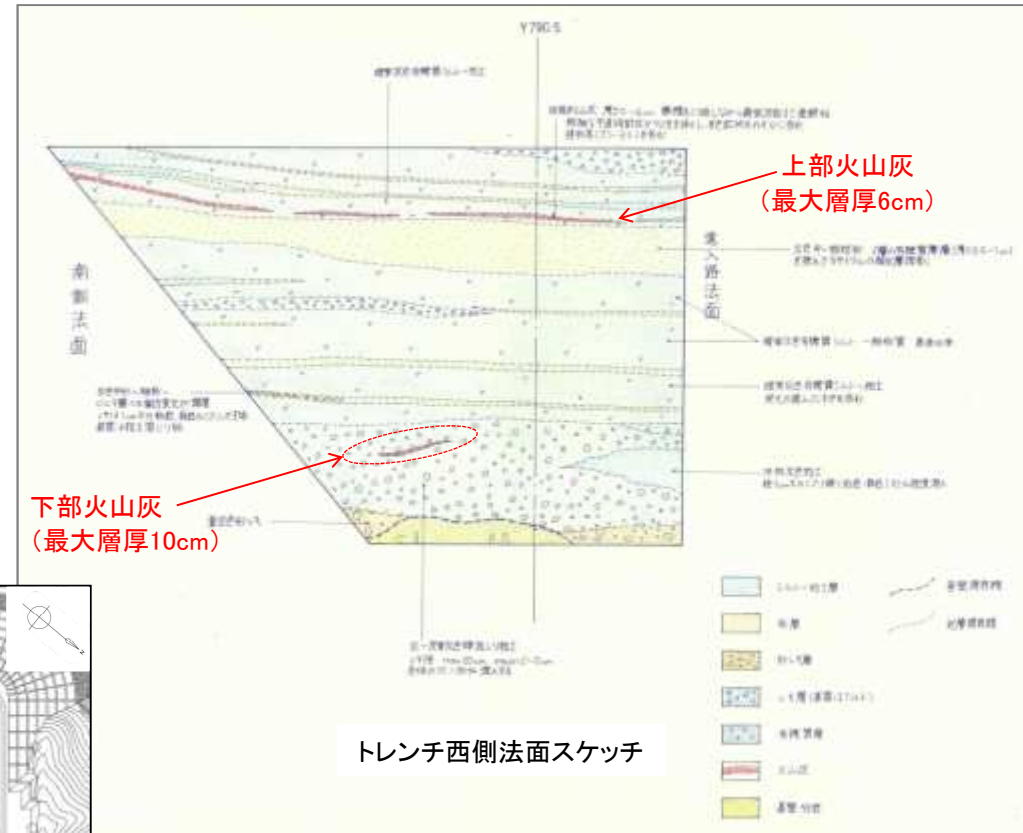
3.1 降下火砕物の影響評価【地質調査①】

【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、宍倉ほか(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。



トレンチ調査位置図



3. 原子力発電所に影響を及ぼし得る火山事象の抽出

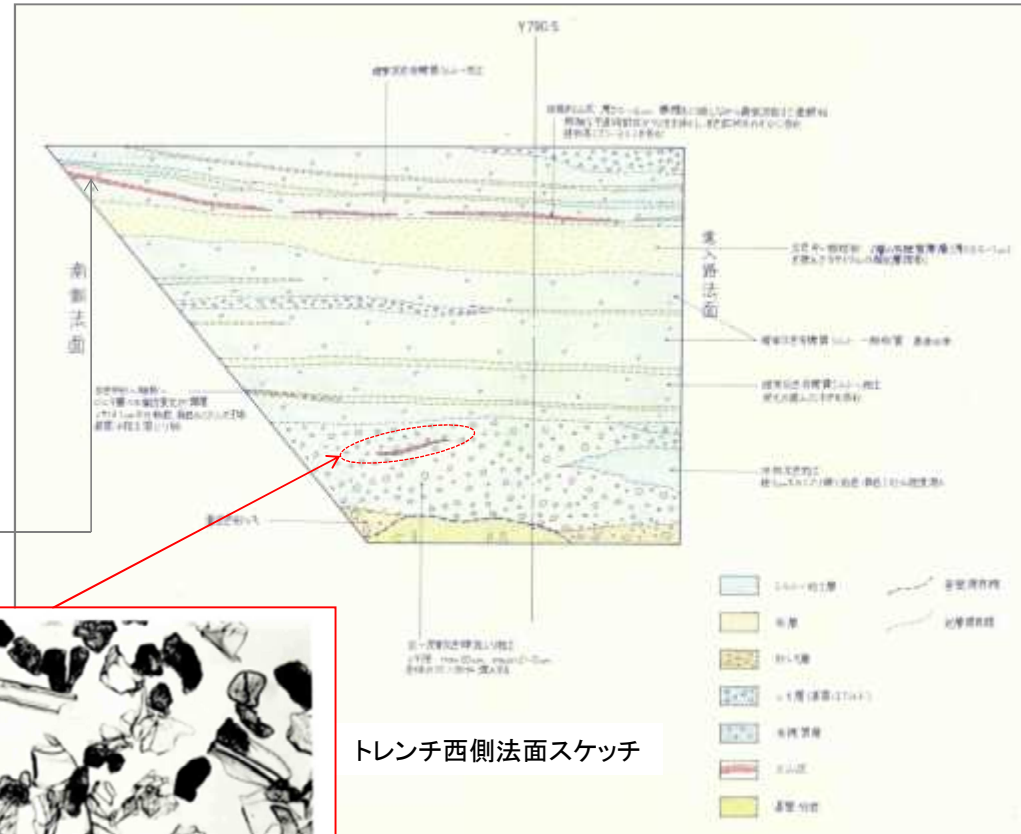
3.1 降下火砕物の影響評価【地質調査②】

【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(1997)を踏まえ、乾燥密度を $0.7\text{g}/\text{cm}^3$ 、湿潤密度を $1.5\text{g}/\text{cm}^3$ とした。



「十和田aテフラ」の可能性
(給源の特定には至っていない)

上部火山灰 ①



肘折尾花沢テフラ

下部火山灰 ②

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【地質調査③】

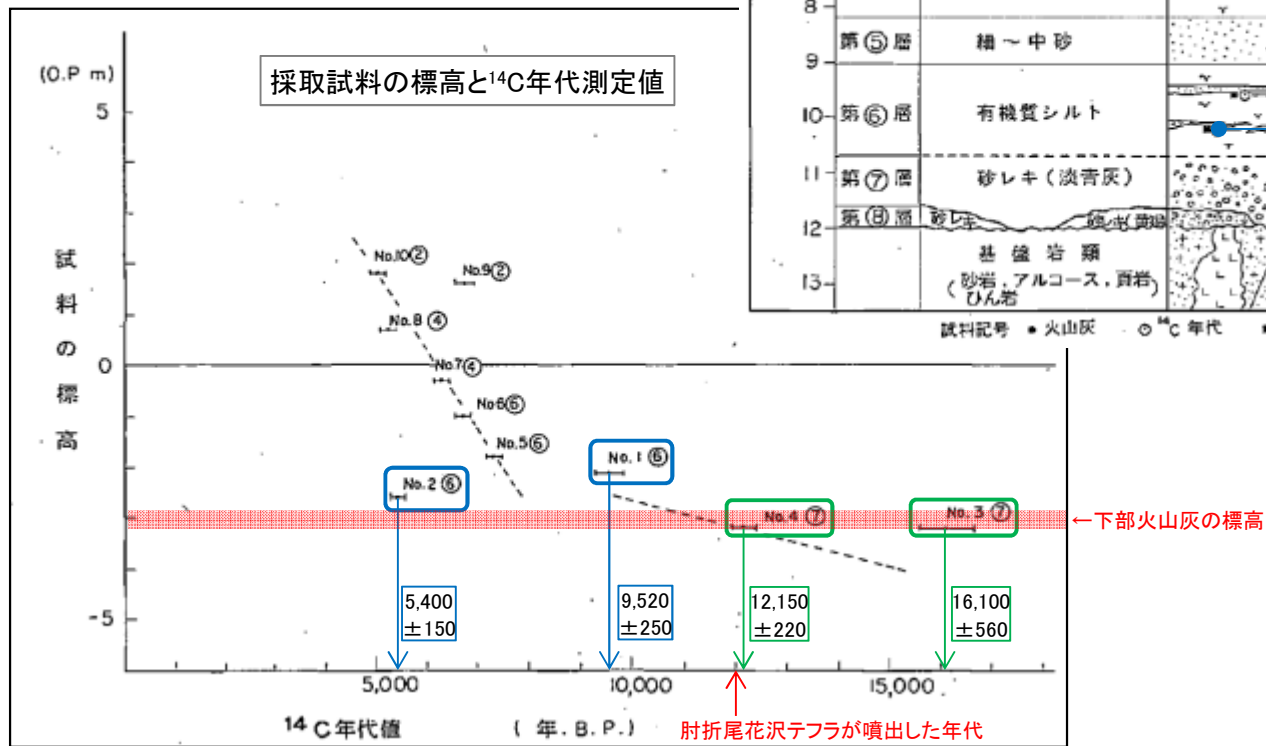
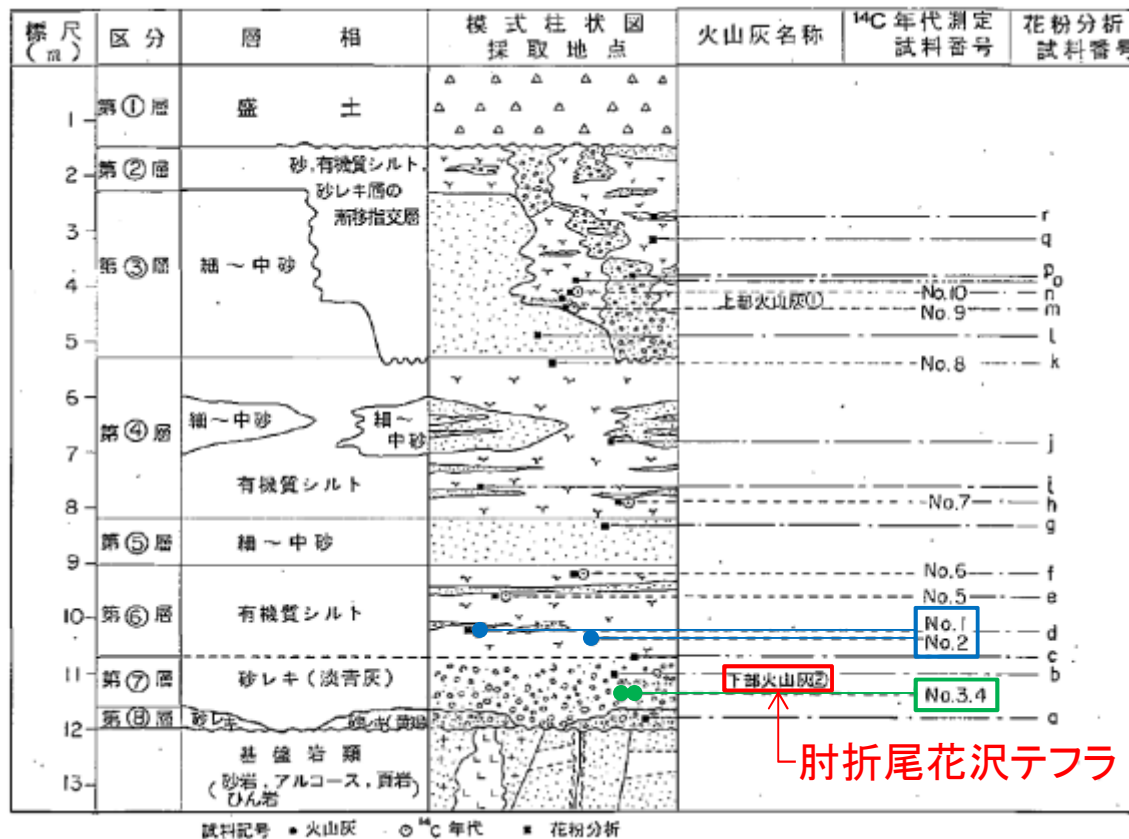
¹⁴C年代測定及び火山灰の試料採取層準

【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±560年前及び12,150±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±250年前及び5,400±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5,000~7,000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。

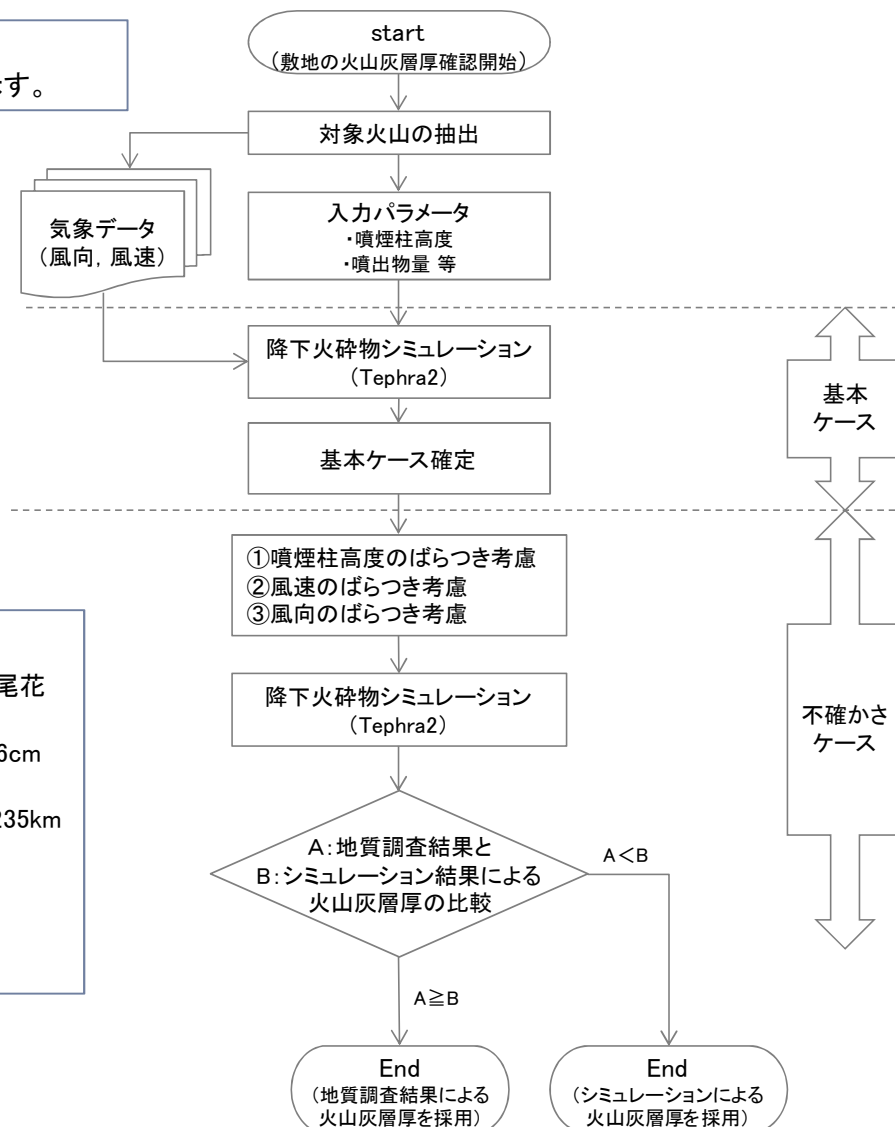


3. 原子力発電所に影響を及ぼし得る火山事象の抽出

3.1 降下火砕物の影響評価【シミュレーション:概要及び対象火山の抽出】

【概要】

- シミュレーションを用いた降下火砕物の堆積厚さを確認するフローを示す。



【対象火山の抽出について】

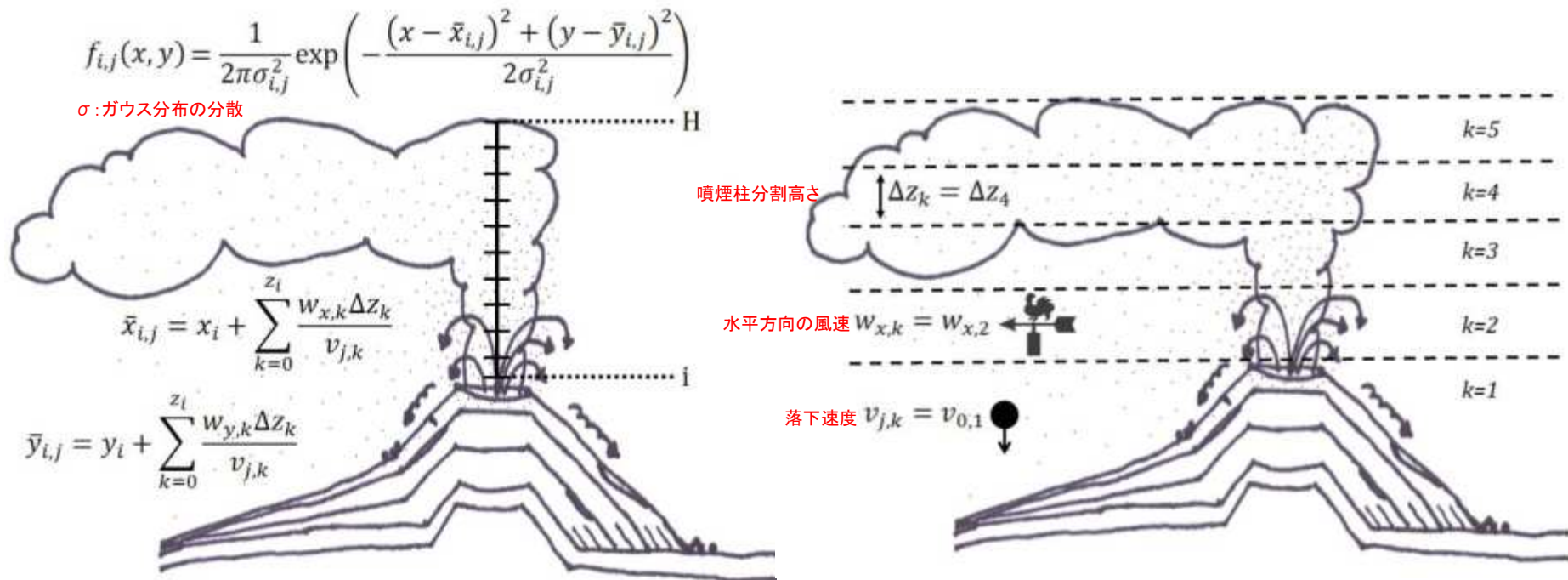
- 敷地内で実施した地質調査の結果、肘折カルデラを給源とする肘折尾花沢テフラと十和田を給源とする十和田aテフラが確認された。
- 肘折尾花沢テフラは最大層厚が10cm、十和田aテフラは最大層厚が6cmである。
- 肘折カルデラと十和田の敷地からの距離は、それぞれ約117kmと約235kmである。

敷地内で確認された層厚が厚く、敷地からの距離が近い
肘折カルデラ(肘折尾花沢テフラ)を対象とする。

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【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p36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。



「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【シミュレーション:入力パラメータ(肘折カルデラ)】

- 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。

【噴出量について】

- 肘折カルデラは約12,000年前に活動し, 噴出量は 2.02km^3 , 短時間で活動のピークを迎えた(p21参照)。
- 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, 0.69km^3 であることが須藤(2007)により報告されている。

↓

降下火砕物のシミュレーションに用いる噴出量を 0.69km^3 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]

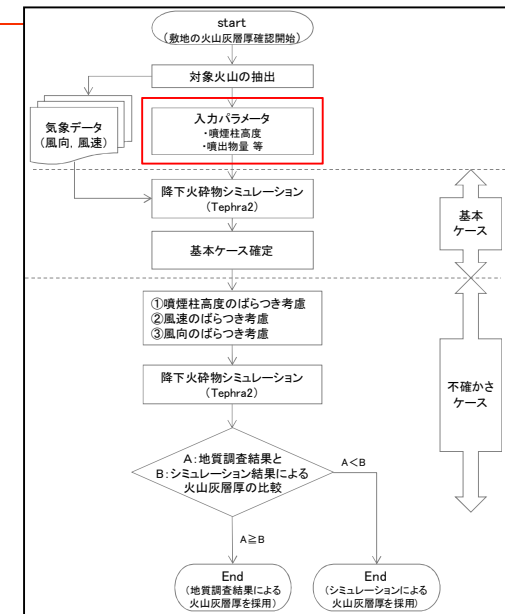
VEI	1	2	3	4	5	6	7	8
噴出物総体積 (km^3)	0.0001	0.001	0.01	0.1	1	10	100	1000~
噴煙柱高度 (km)	0.1~1	1~5	3~15	10~25	>25			
	小噴火	中噴火	大噴火	巨大噴火	破局的噴火			
	爆発的噴火							
	テフロクロノロジーに利用							
	高頻度							低頻度

※町田(2003)に一部加筆

- 町田(2003)によれば, 肘折カルデラの噴出物量 0.69km^3 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

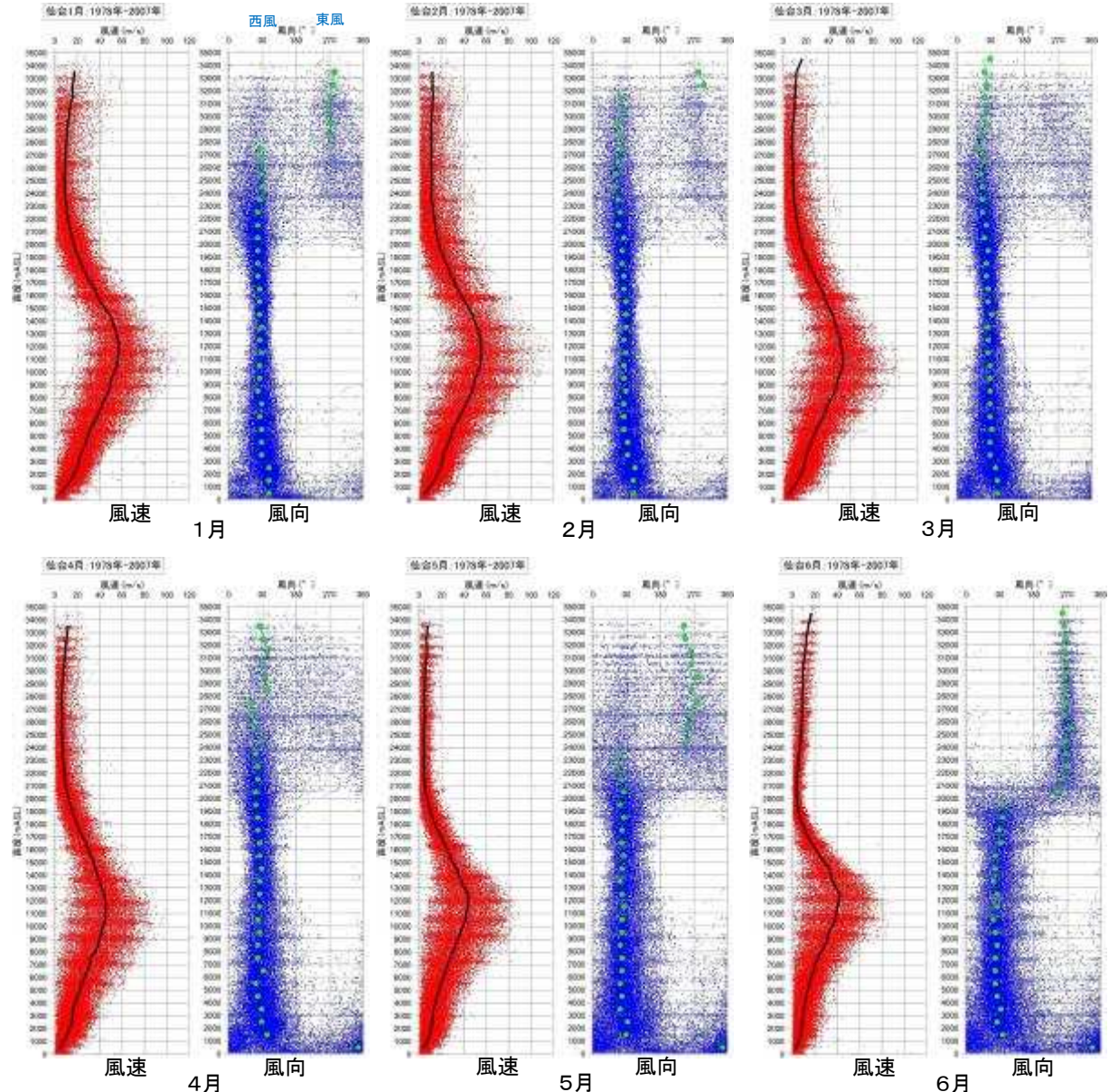
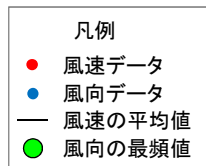
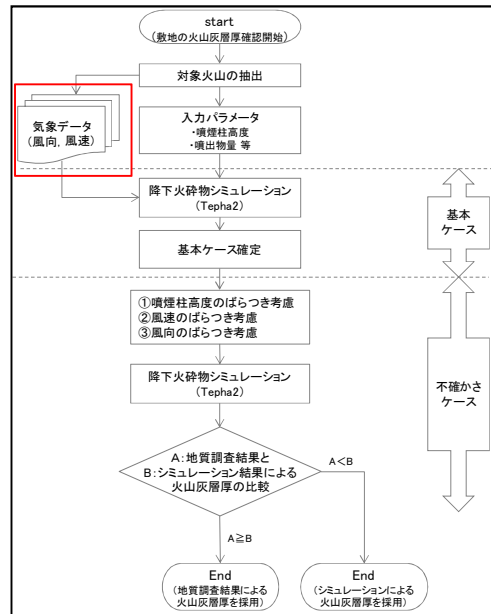
【その他の計算条件】

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	2.6	Tephra2 Users Manual(2011)より設定
軽石粒子密度	kg/m^3	1.0	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

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【シミュレーション: 気象データ①】

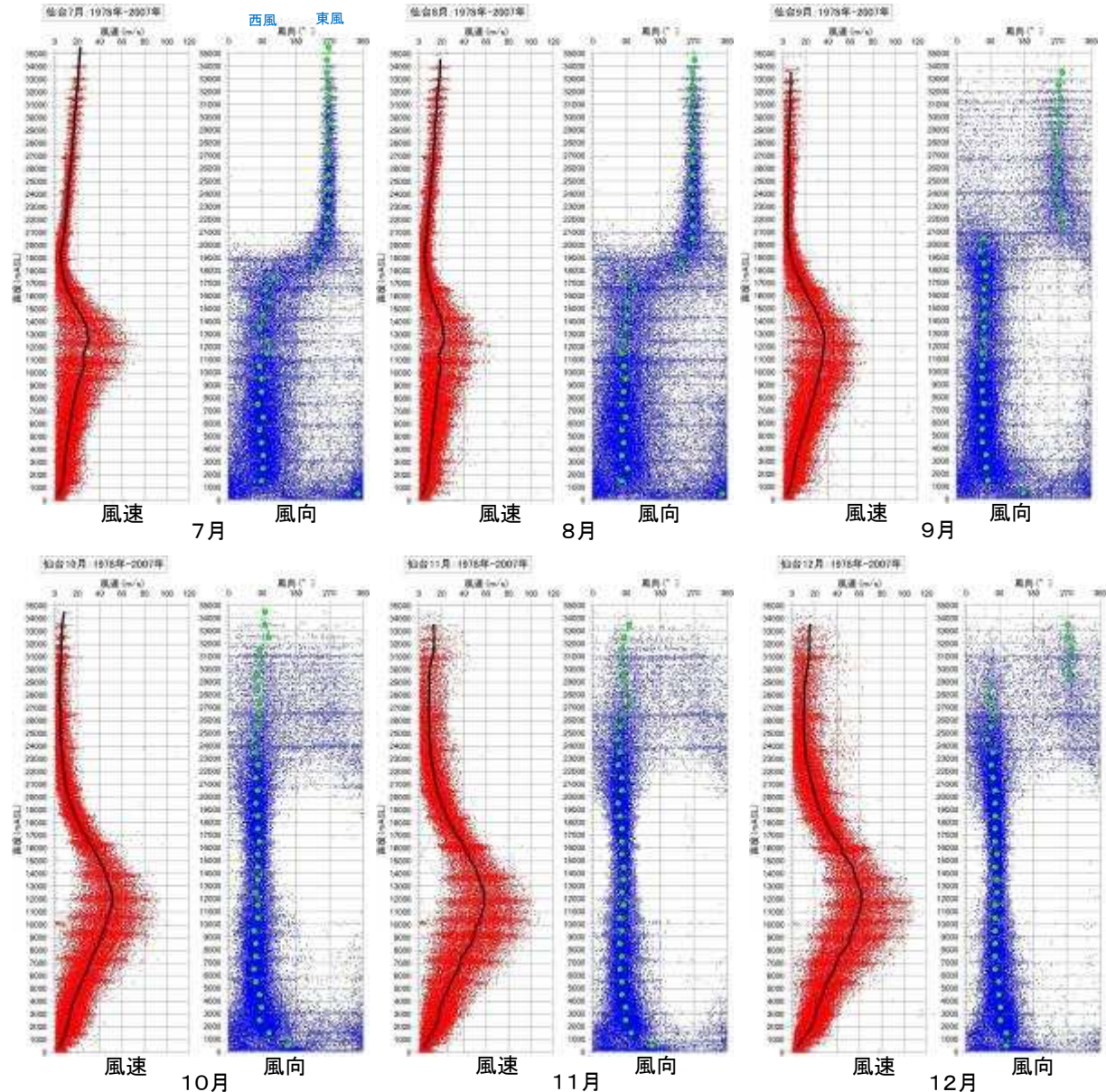
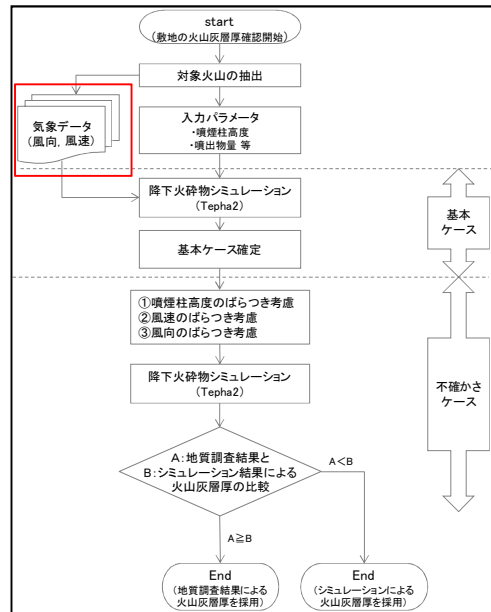
- ▶ 降下火砕物シミュレーションに用いる風速及び風向の気象データについては、ワイオミング大学より1978年～2007年までの30年間のデータを取得し、風速は月別平均値、風向は月別最頻値を求めた。
- ▶ 風速は冬季の最大60m/s程度(ジェット気流)である。
- ▶ 風向は西風が卓越しているが、夏季及び冬季の成層圏においては東風になる傾向が示されている。



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 【シミュレーション: 気象データ②】

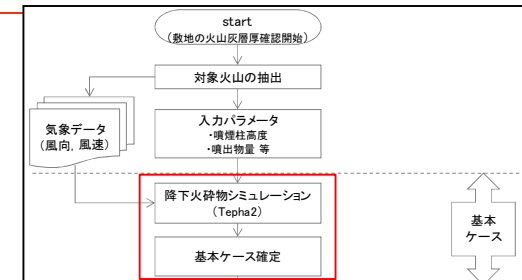
- ▶ 降下火砕物シミュレーションに用いる風速及び風向の気象データについては、ワイオミング大学より1978年～2007年までの30年間のデータを取得し、風速は月別平均値、風向は月別最頻値を求めた。
- ▶ 風速は冬季の最大60m/s程度(ジェット気流)である。
- ▶ 風向は西風が卓越しているが、夏季及び冬季の成層圏においては東風になる傾向が示されている。



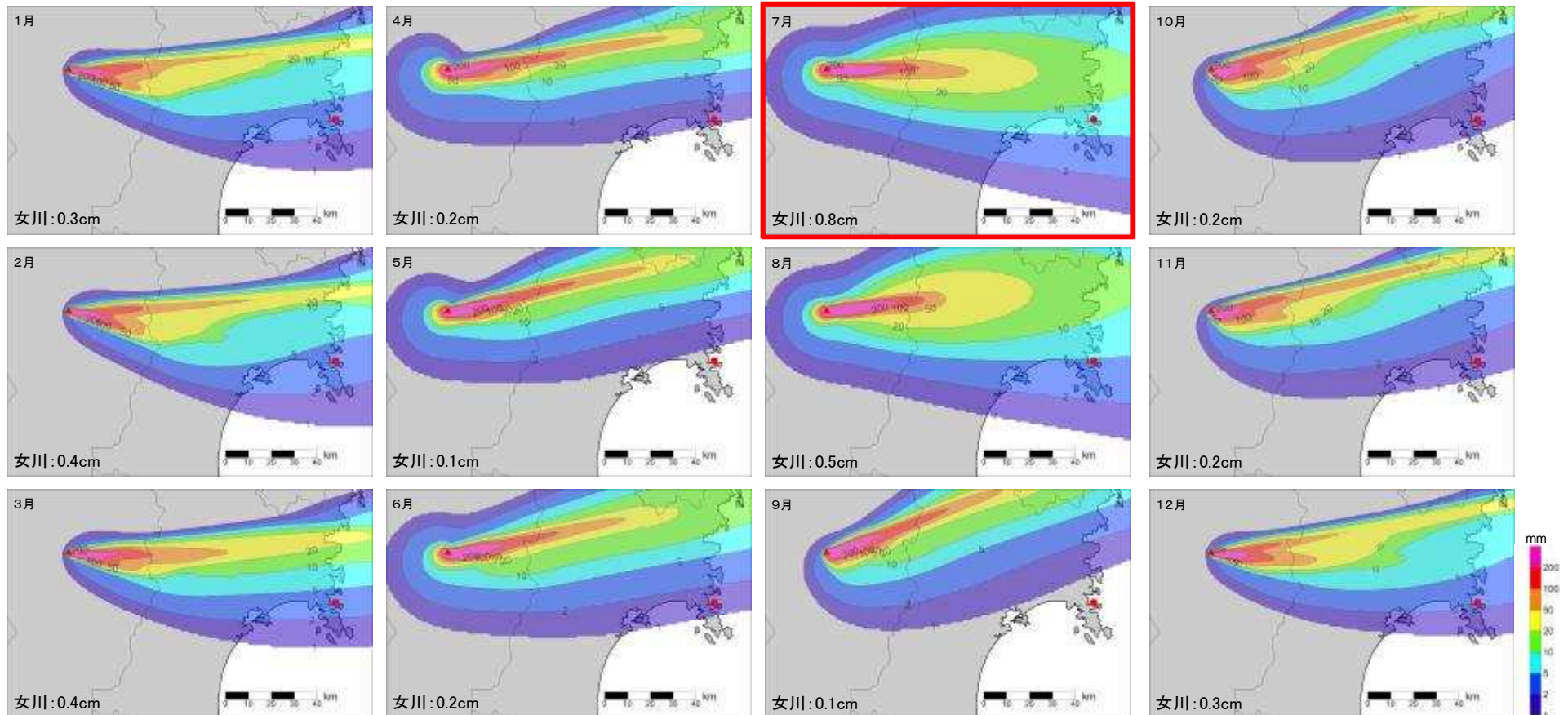
3. 原子力発電所に影響を及ぼし得る火山事象の抽出

3.1 降下火砕物の影響評価【シミュレーション:基本ケース結果(肘折カルデラ)】

- 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)

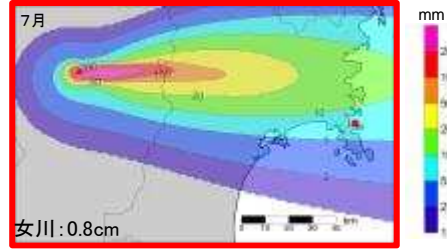


文献で示されている肘折尾花沢テフラの層厚との対比については、補足説明資料p37-41に示す。

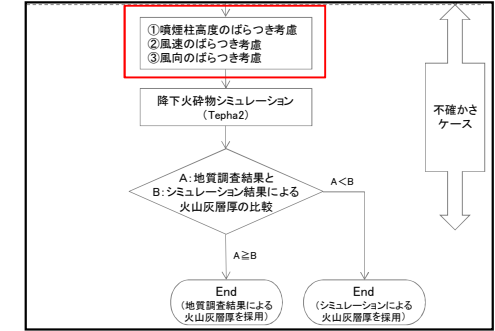
3. 原子力発電所に影響を及ぼし得る火山事象の抽出

3.1 降下火砕物の影響評価【シミュレーション:不確かさの考慮(肘折カルデラ)】

- ▶ 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。



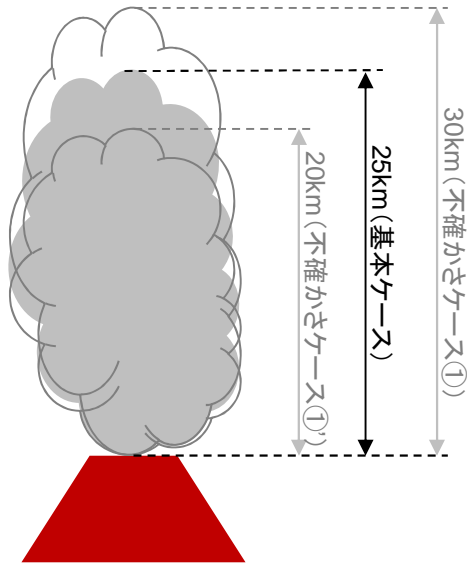
降下火砕物のシミュレーションにおける不確かさを考慮



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)

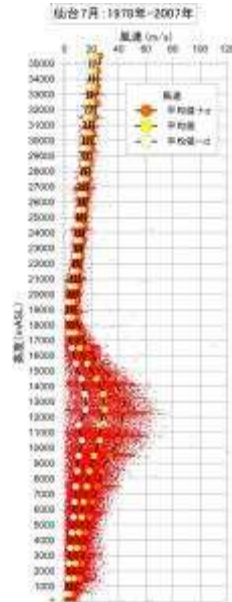
①噴煙柱高さに関する不確かさの考慮

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



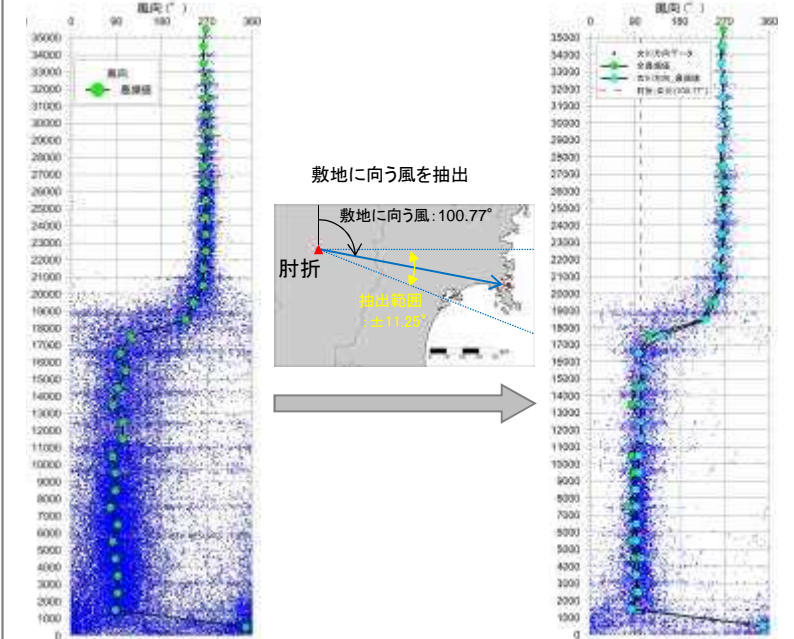
②風速に関する不確かさの考慮

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。

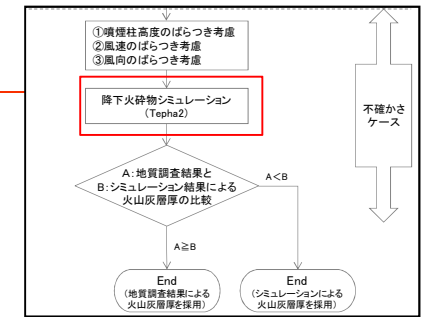


3. 原子力発電所に影響を及ぼし得る火山事象の抽出

3.1 降下火砕物の影響評価

【シミュレーション:不確かさのケース①(肘折カルデラ)】

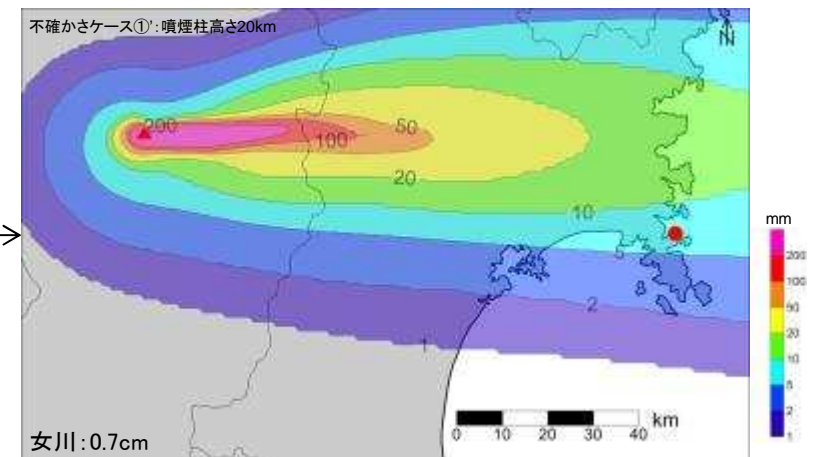
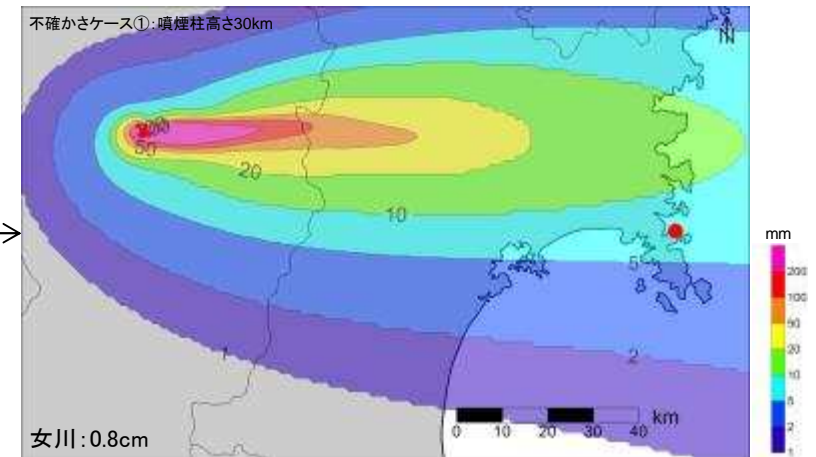
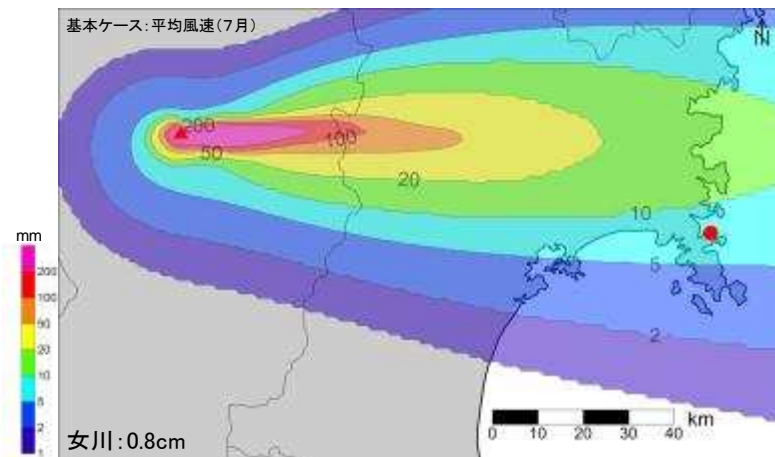
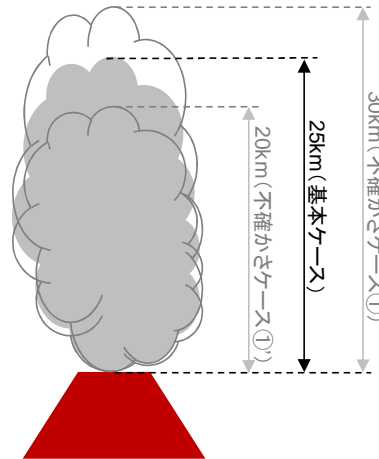
- 噴煙柱高さの不確かさ(±5km)を考慮した結果, 最も女川原子力発電所に火山灰が堆積するのは, 基本ケースと不確かさケース①であった。



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

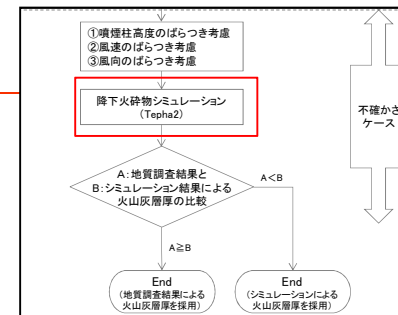


3. 原子力発電所に影響を及ぼし得る火山事象の抽出

3.1 降下火砕物の影響評価

【シミュレーション:不確かさのケース②(肘折カルデラ)】

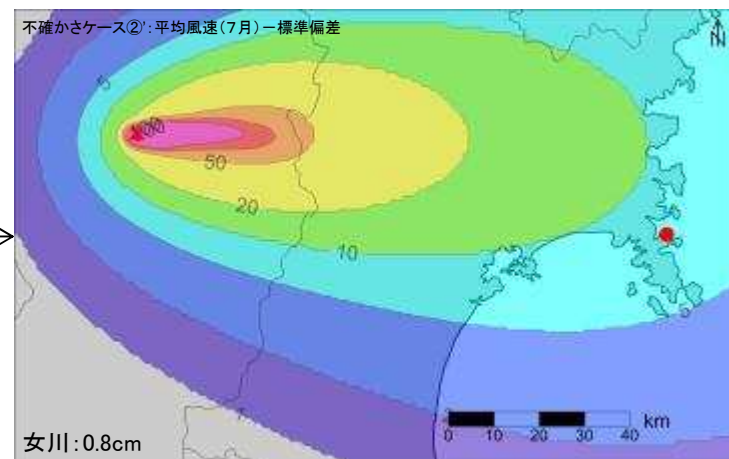
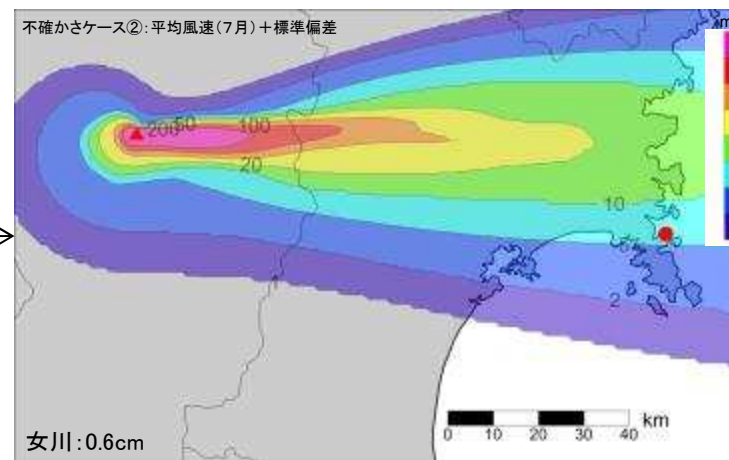
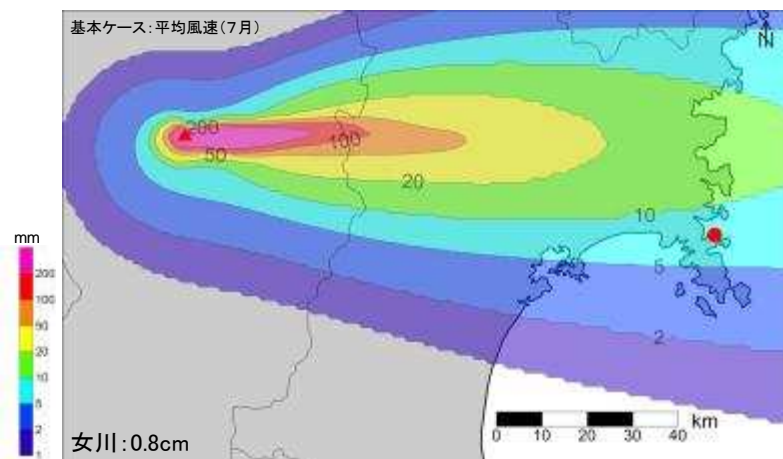
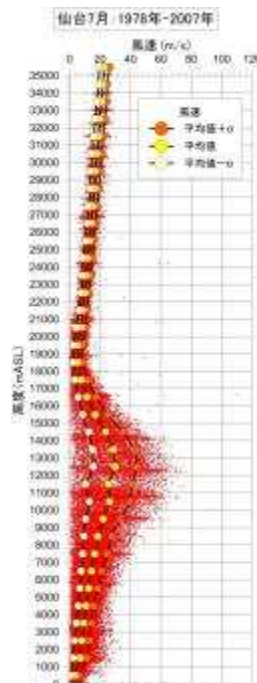
- 風速の不確かさ(±標準偏差)を考慮した結果、最も女川原子力発電所に火山灰が堆積するのは、基本ケースと不確かさケース②'であった。



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



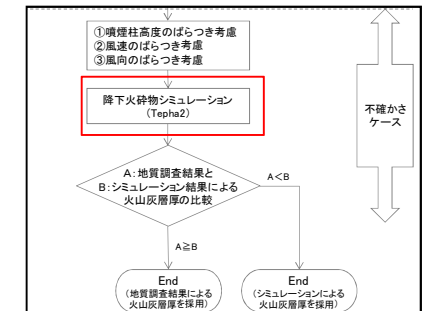
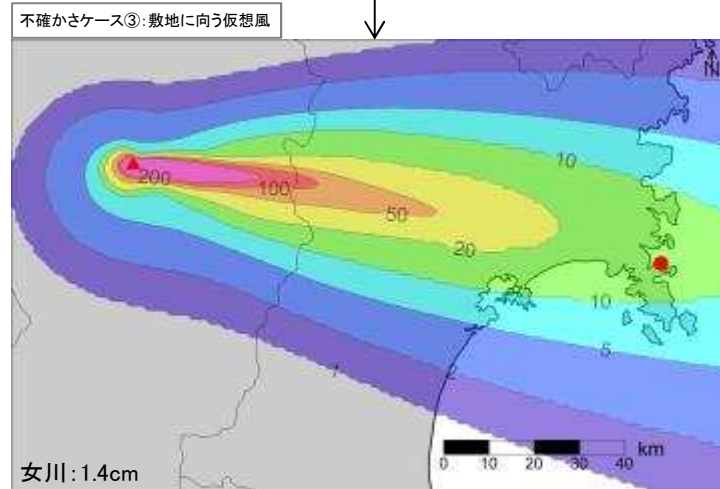
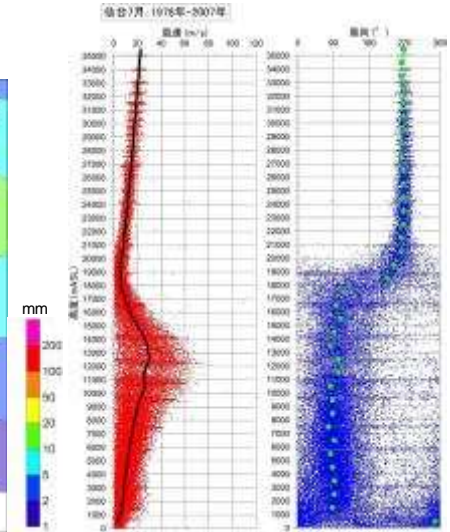
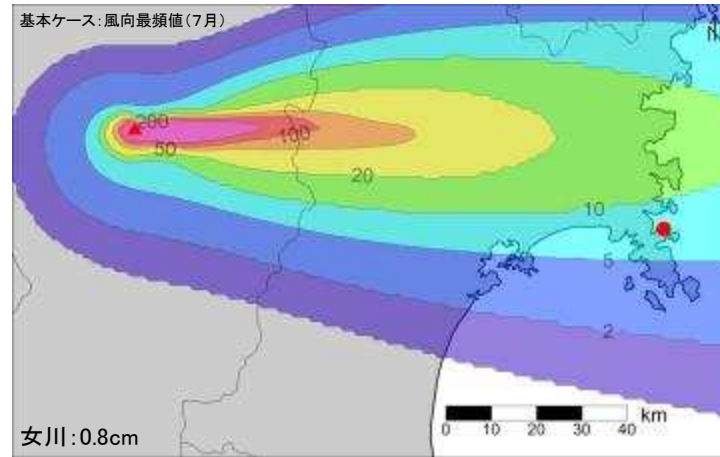
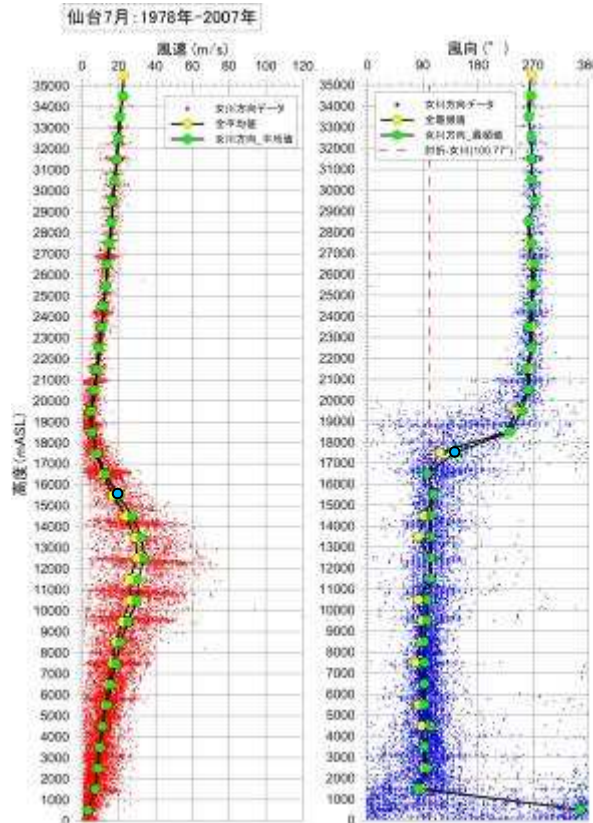
3. 原子力発電所に影響を及ぼし得る火山事象の抽出

3.1 降下火砕物の影響評価【シミュレーション:不確かさケース③(肘折カルデラ)】

- 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

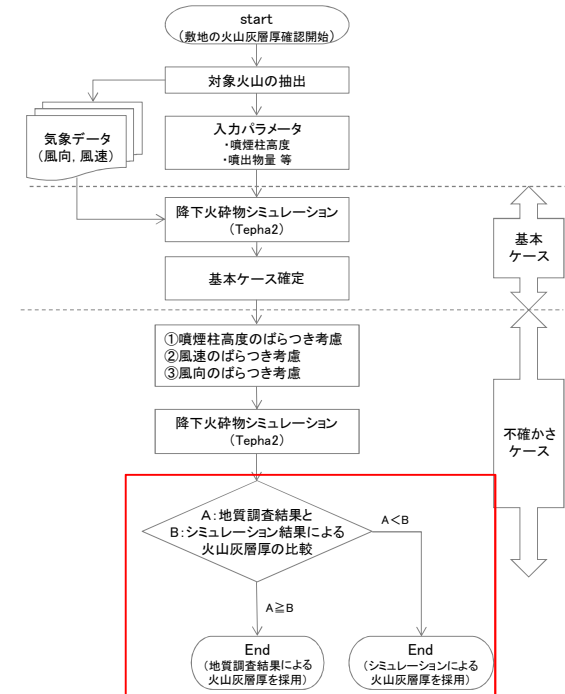
3.1 降下火砕物の影響評価【まとめ】

【降下火砕物のシミュレーションのまとめ】

- 肘折カルデラを対象とした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1.4cmであった。
- 敷地内で確認された肘折尾花沢テフラは、局所的であったことから、シミュレーションの結果を踏まえると、侵食よりは降下後の再堆積の影響により最大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	
基本ケース(月別)	—	0.8cm	
不確かさケース	噴煙柱高さ	30km	0.8cm
		20km	0.7cm
	風速	平均+1σ	0.6cm
		平均-1σ	0.8cm
風向	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

【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、敷地内で確認された降下テフラ(給源: 肘折カルデラ)は層厚1.4cm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

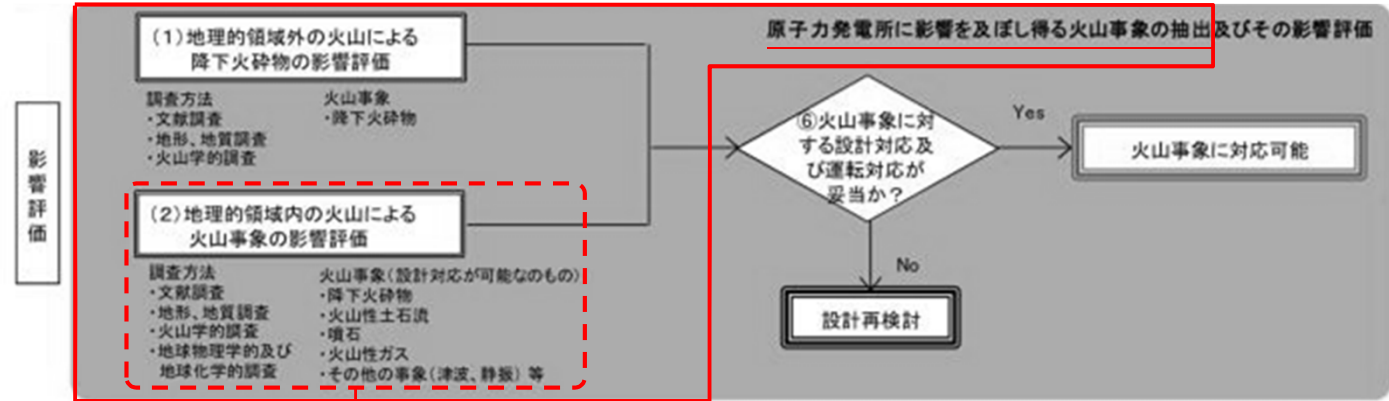


図1 原子力発電所に影響を及ぼす火山影響評価の基本フロー

➤ 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及ぼす可能性のある火山事象及び位置関係*

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、水中の研磨粒子	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、ガスの充満した罐、水の汚染	160km
8. 新しい火口の開口	動的な物理的負荷、地震変動、火山性地震	注3
9. 津波及び静振	水の揺蕩	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	継続的振動、多重衝撃	注4
13. 熱水活及び地下水の異常	熱水、腐食性水、水の汚染、起震又は誘発、熱水異常、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JEAG4025)

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

- ▶ 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(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. 地質調査総合センター編(2012):日本の第四紀火山, Ver.1.49, 更新2012.6.25, https://gbank.gsj.jp/volcano-QV/VOL_JP/index.htm
3. 地質調査所(1992):20万分の1地質図「石巻」
4. 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
5. 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
6. 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
7. 日本第四紀学会編(1987):日本第四紀地図
8. 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
9. 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>
10. 北村信(1967):宮城県地質, 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
11. 生出慶司・中川久夫・蟹沢聰史(1989):日本の地質2. 東北地方
12. 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
13. 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-
14. 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
15. 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
16. 地質調査所(1965):5万分の1「焼石岳」地質図幅および同説明書
17. 地質調査所(1971):5万分の1「川尻」地質図幅および同説明書
18. 林信太郎(1984):鳥海火山の地質. 岩鉱, 90, 195-214
19. 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
20. 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
21. 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
22. 地質調査所(1997):5万分の1「岩ヶ崎」地質図幅および同説明書
23. 阪口圭一・山田三(1988):鬼首カルデラ周辺の火砕流堆積物-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
24. 地質調査所(1987):20万分の1地質図幅「仙台」
25. 地質調査所(1992):20万分の1地質図幅「石巻」
26. 地質調査所(1998):20万分の1地質図幅「新庄及び酒田」
27. 地質調査所(2005):20万分の1地質図幅「一関」
28. 小池一之・町田洋編(2001):「日本の海成段丘アトラス」
29. 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
30. 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
31. 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
32. 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」
33. 酒寄淳史(1985):蔵王火山の地質. 岩鉱, 80, 94-103
34. 酒寄淳史(1992):蔵王火山の地質と岩石. 岩鉱, 87, 433-444
35. 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
36. 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」
37. 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
38. 藤縄明彦(1985):安達太良火山の地質と岩石. 岩鉱, 75, 385-395
39. 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
40. 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
41. 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
42. 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

参考文献②

43. 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
44. 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
45. 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
46. 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
47. 伴雅雄(2013): 蔵王火山. 地質学雑誌, 119, 補遺, 120-133
48. 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
49. 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
50. 伴雅雄(2013): 蔵王火山. 地質学雑誌, 119, 補遺, 120-133
51. 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
52. 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
53. 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
54. 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
55. 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
56. 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
57. 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研究報告, 27, 218-231
58. 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
59. 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
60. 三村弘二(1994): 磐梯火山の放射年代-概法-. 地調月報, 45, 565-571
61. 宍倉正展・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.
62. 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
63. 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
64. 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
65. 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
66. 宇井忠英編(1997): 火山噴火と災害, 東京大学出版会
67. 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.
68. University of South Florida(2011): Tephra2 Users Manual , Spring 2011