

女川原子力発電所2号炉 火山影響評価について

(令和元年9月27日審査会合資料 一部修正)

令和元年11月6日
東北電力株式会社

審査会合におけるコメント

No.	審査会合におけるコメント(令和元年8月9日)
S202	• 高松岳と安達太良山の活動性を評価している箇所に、中野ほか編(2013)のWEB版(奥宮山と西鴉川が分離されたこと)を反映しても、最終評価に影響がないことを追記すること。
S203	• 八甲田山(北八甲田火山群)の甲地軽石について、十和田中掬のシミュレーション結果から最終評価に影響がないことを追記すること。

火山影響評価の全体概要

- 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、「原子力発電所に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。

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。

本資料で説明する範囲

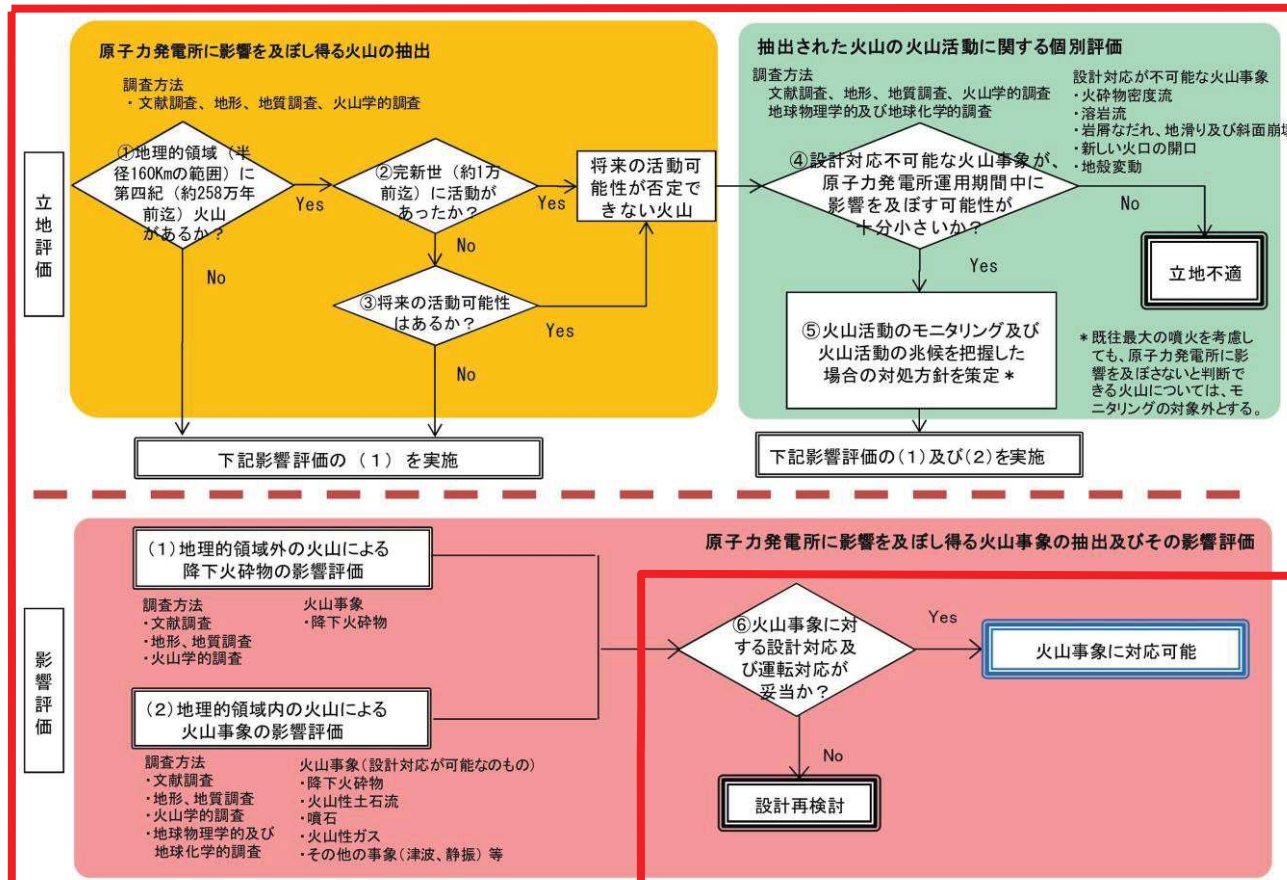


図1 原子力発電所に影響を及ぼす火山影響評価の基本フロー
「原子力発電所の火山影響評価ガイド」より抜粋、一部加筆

申請時(H25.12.27)からの変更内容

原子力発電所に影響を及ぼし得る火山の抽出

評価項目	申請時の評価(H25.12.27)	申請以降実施した検討	最終評価
敷地を中心とする半径160kmの範囲の第四紀火山	31火山	<ul style="list-style-type: none"> 敷地を中心とする半径160kmの範囲の第四紀火山(31火山)の個別文献調査を行うとともに、噴出量-年代階段ダイヤグラムから各火山の詳細な活動履歴を把握した。 最新知見の反映として、山元(2015)で示されている火砕流の年代値を考慮することとし、笹森山を「将来の活動可能性が否定できない火山」に追加した。 	31火山
完新世に活動を行った火山	8火山		8火山
将来の活動可能性が否定できない火山	2火山		3火山
原子力発電所に影響を及ぼし得る火山	10火山		11火山 (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, 笹森山 , 吾妻山, 安達太良山及び磐梯山)

抽出された火山の火山活動に関する個別評価

評価項目	申請時の評価(H25.12.27)	申請以降実施した検討	最終評価
火砕物密度流	既往最大を考慮しても発電所に影響を及ぼさない。	<ul style="list-style-type: none"> 原子力発電所に影響を及ぼし得る火山(11火山)について、火砕物密度流に関する文献調査を行い、その分布域を把握した。 鳴子カルデラについて、火砕物密度流の分布域と鳴子カルデラから女川までの地形を詳細に検討した。 	既往最大を考慮しても発電所に影響を及ぼさない。
溶岩流			
岩屑なだれ他			
新しい火口の開口			
地殻変動			
モニタリング	対象外		対象外

原子力発電所に影響を及ぼし得る火山事象の抽出

評価項目	申請時の評価(H25.12.27)	申請以降実施した検討	最終評価
降下火砕物	敷地での層厚:10cm	<ul style="list-style-type: none"> 降下火砕物について、鳴子カルデラ, 肘折カルデラ, 蔵王山及び十和田を対象にシミュレーションを実施した。 	敷地での層厚: 15cm
火山性土石流他	発電所に影響を及ぼす火山事象ではない。	<ul style="list-style-type: none"> 鳴子荷坂テフラは、女川に最も影響を及ぼす可能性があることから、文献調査, 露頭調査及び各種分析を実施した。 敷地内の地層は、沖積層がジュラ系の地層を不整合に覆っていることを保守的に考慮した。 	発電所に影響を及ぼす火山事象ではない。
飛来物(噴石)			
火山ガス			
その他の火山事象			

第446回審査会合(H29.2.24)からの変更内容

No.	第446回審査会合(H29.2.24)からの変更内容	該当頁 (【】は補足説明資料)
1	敷地を中心とする半径160kmの範囲の第四紀火山の活動時期を示す表について、全活動期間及び最新活動からの経過時間が明確になるよう変更した。	p10,12
2	中野ほか編(2013)のWEB版(2019.3.19)の更新内容を踏まえた検討を追加した。	p8~10,38 【p9,128,129】
3	土井(2018)、古川ほか(2018)及びYamamoto et al.(2018)を反映した。	p20,21,37,40,55,56,81
4	十和田について、「原子力発電所の火山影響評価ガイドにおける「設計対応不可能な火山事象を伴う火山活動の評価」に関する基本的な考え方について」で定義される「巨大噴火」の記載を追加した。	p80
5	降下火砕物シミュレーションの対象火山の噴火規模を評価する上で、現在の活動状況を確認しているため、前回の審査会合以降に発表された最新の情報に変更した。	p61,63,64,68,69,71, 72,73,74,77~79
6	降下火砕物シミュレーションの対象火山の噴火規模を評価する上で、東北地方太平洋沖地震後の地殻変動に関する検討を行っており、その内容について参照する文献を追加し、資料の充実化を図った。	p62,64,70,82

目次

1. 原子力発電所に影響を及ぼし得る火山の抽出	p6
1.1 敷地を中心とする半径160kmの範囲の第四紀火山	p8
1.2 原子力発電所に影響を及ぼし得る火山	p11
2. 抽出された火山の火山活動に関する個別評価	p14
3. 原子力発電所に影響を及ぼし得る火山事象の抽出	p41
3.1 降下火砕物の影響評価	p43
3.1.1 文献調査	p44
3.1.2 地質調査	p49
3.1.3 シミュレーション	p52
3.1.4 鳴子荷坂の詳細検討	p102
3.1.5 降下火砕物の影響評価のまとめ	p149
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	p151
4. まとめ	p153
参考文献	p155

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。

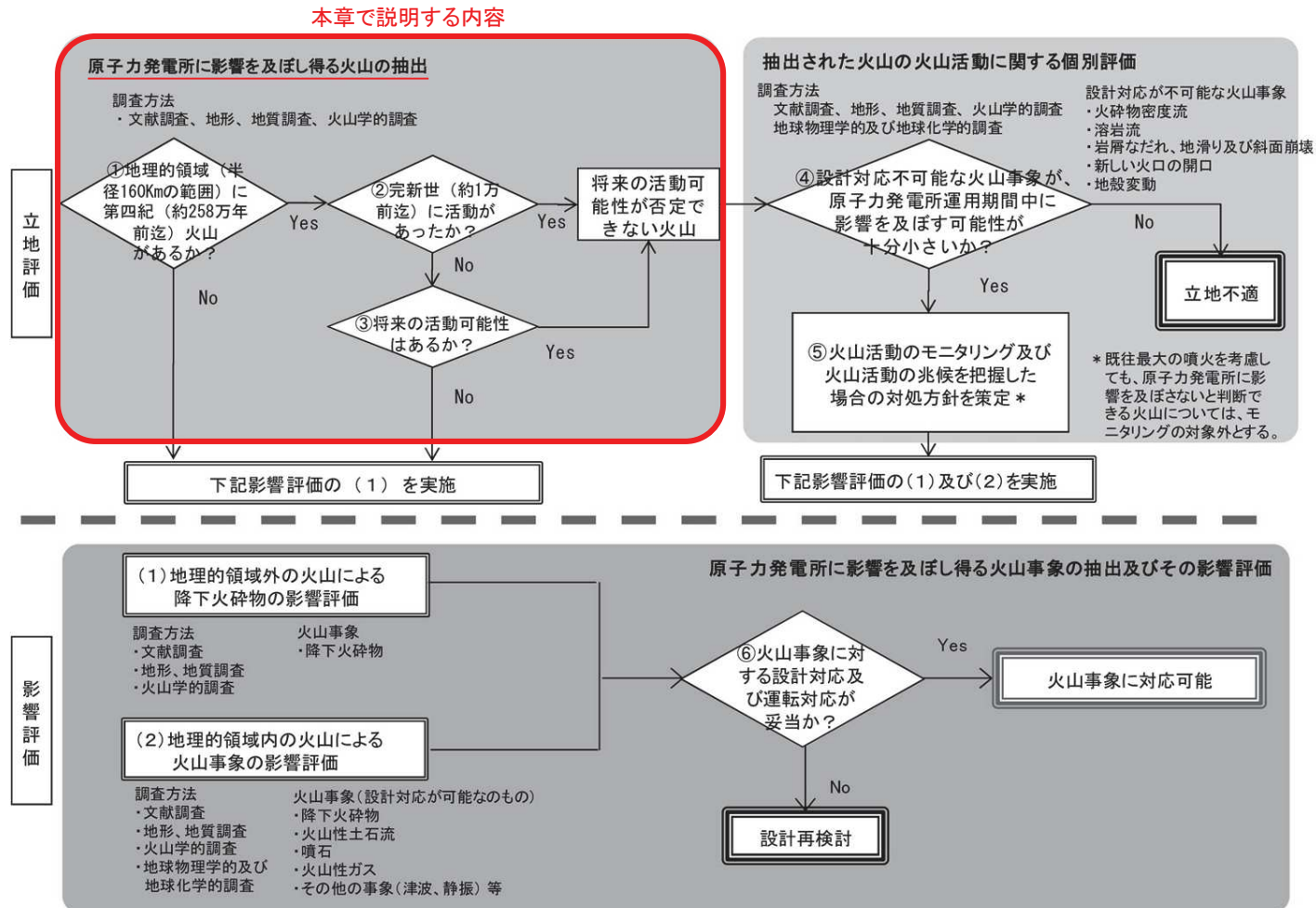


図1 原子力発電所に影響を及ぼす火山影響評価の基本フロー

「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】

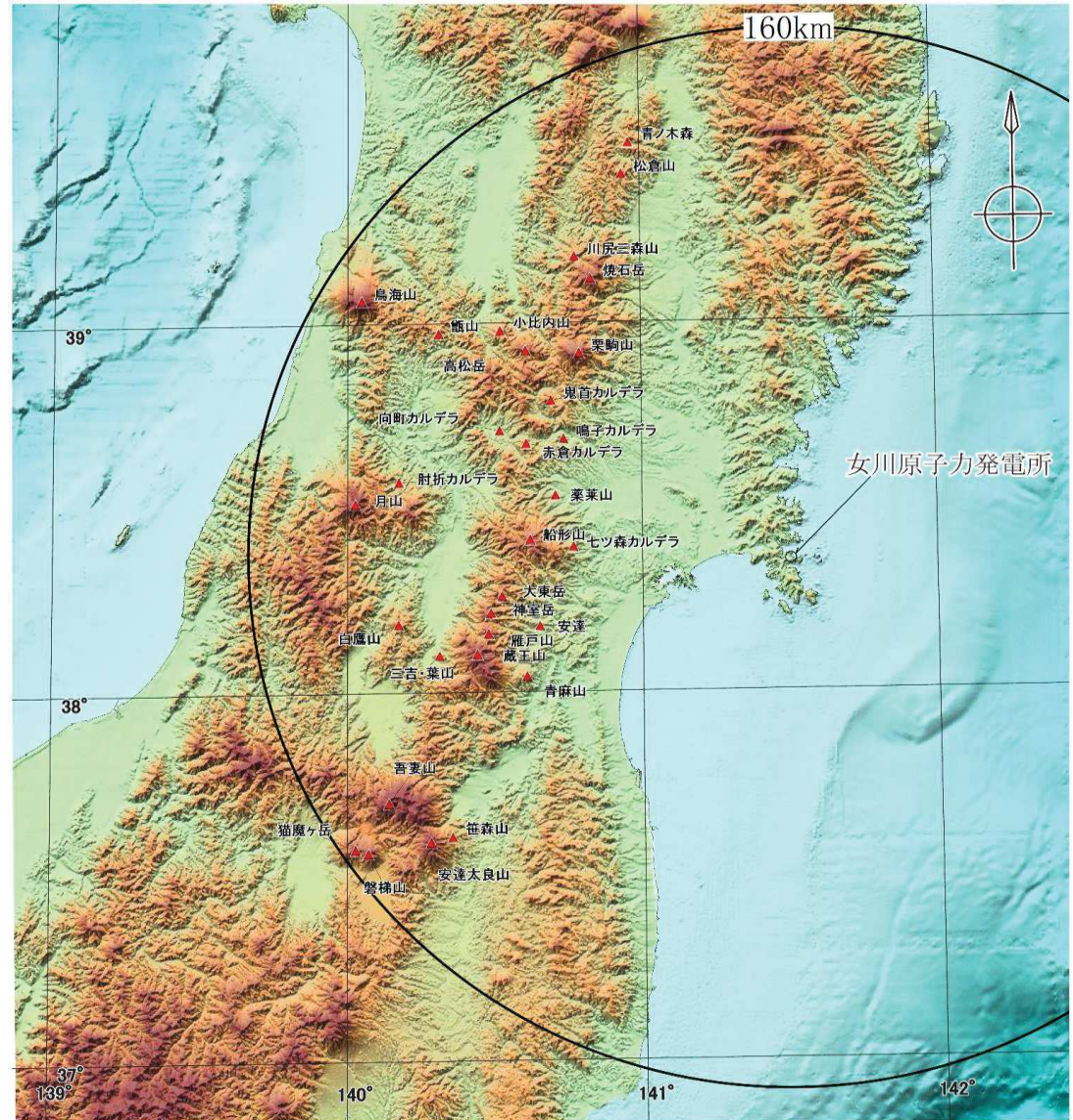
- 敷地を中心とする半径160kmの範囲には、下表のとおり、31の第四紀火山がある。
- これら31の第四紀火山は、盛岡～石巻、仙台～中通り(福島)にかけての低地帯よりも西側に分布し、脊梁山地を構成している。
- 敷地は、火山フロントより約60km東側に離れた北上山地南端部の牡鹿半島に位置している。

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

火山名及び最新活動時期は、中野ほか編(2013)による。
中野ほか編(2013)のWEB版(2019.3.19)では、高松岳及び安達太良山からそれぞれ奥宮山及び西鴉川を分離したことが記載されているが、2013年の発行以降に新たな文献等が追加されて分離したものではないことから、これまでどおり高松岳及び安達太良山に含めて整理する。なお、念のため、奥宮山及び西鴉川の活動性について検討を行い、「原子力発電所に影響を及ぼし得る火山」に該当しないことを確認した(詳細は補足説明資料p128, 129)。

※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。

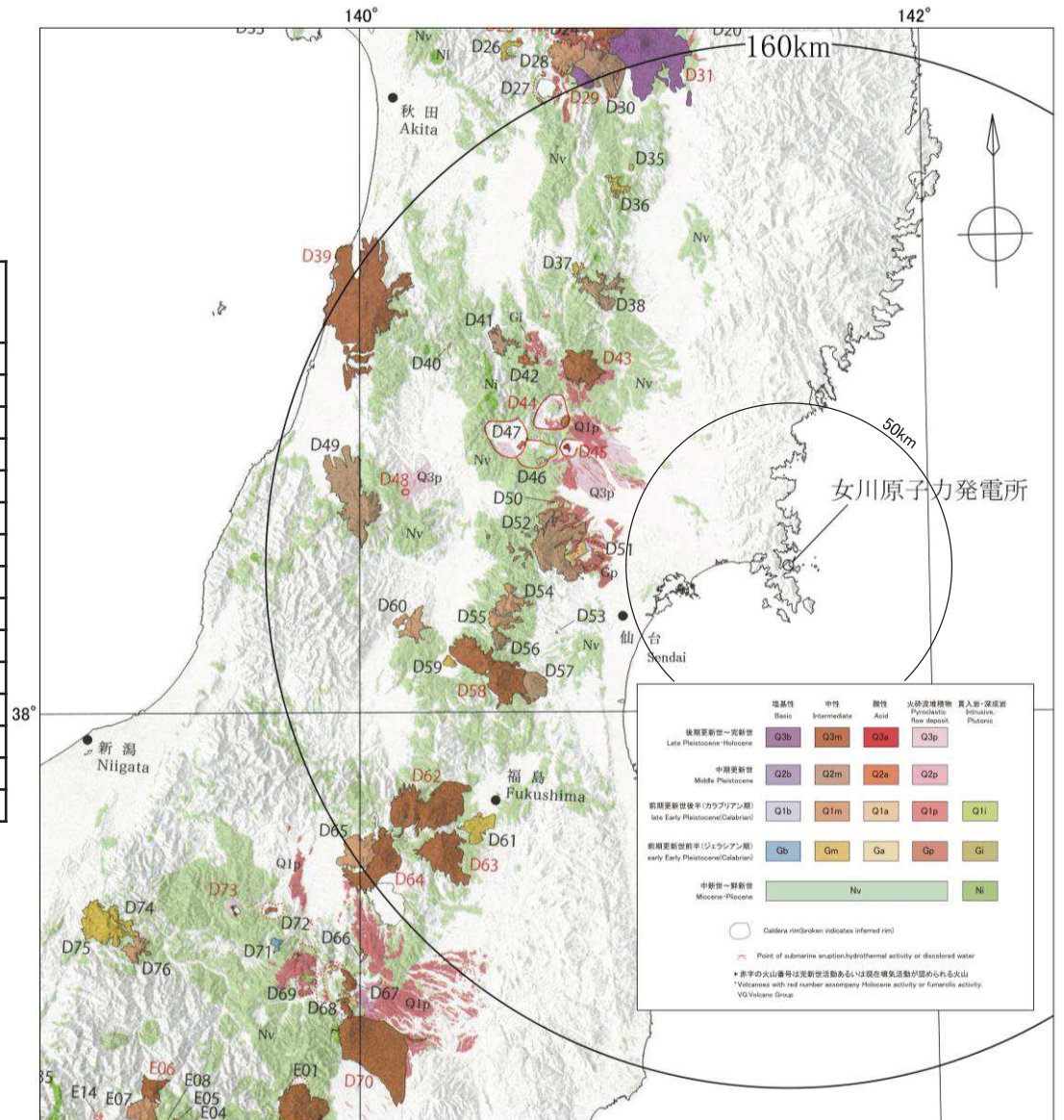
敷地を中心とする半径160kmの範囲の第四紀火山一覧

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

火山名及び最新活動時期は、中野ほか編(2013)による。

中野ほか編(2013)のWEB版(2019.3.19)では、高松岳及び安達太良山からそれぞれ奥宮山及び西鴉川を分離したことが記載されているが、2013年の発行以降に新たな文献等が追加されて分離したものではないことから、これまでどおり高松岳及び安達太良山に含めて整理する。なお、念のため、奥宮山及び西鴉川の活動性について検討を行い、「原子力発電所に影響を及ぼし得る火山」に該当しないことを確認した(詳細は補足説明資料p128, 129)。

※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



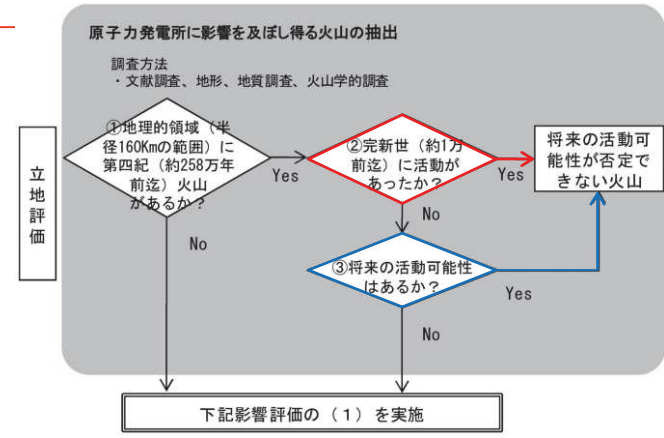
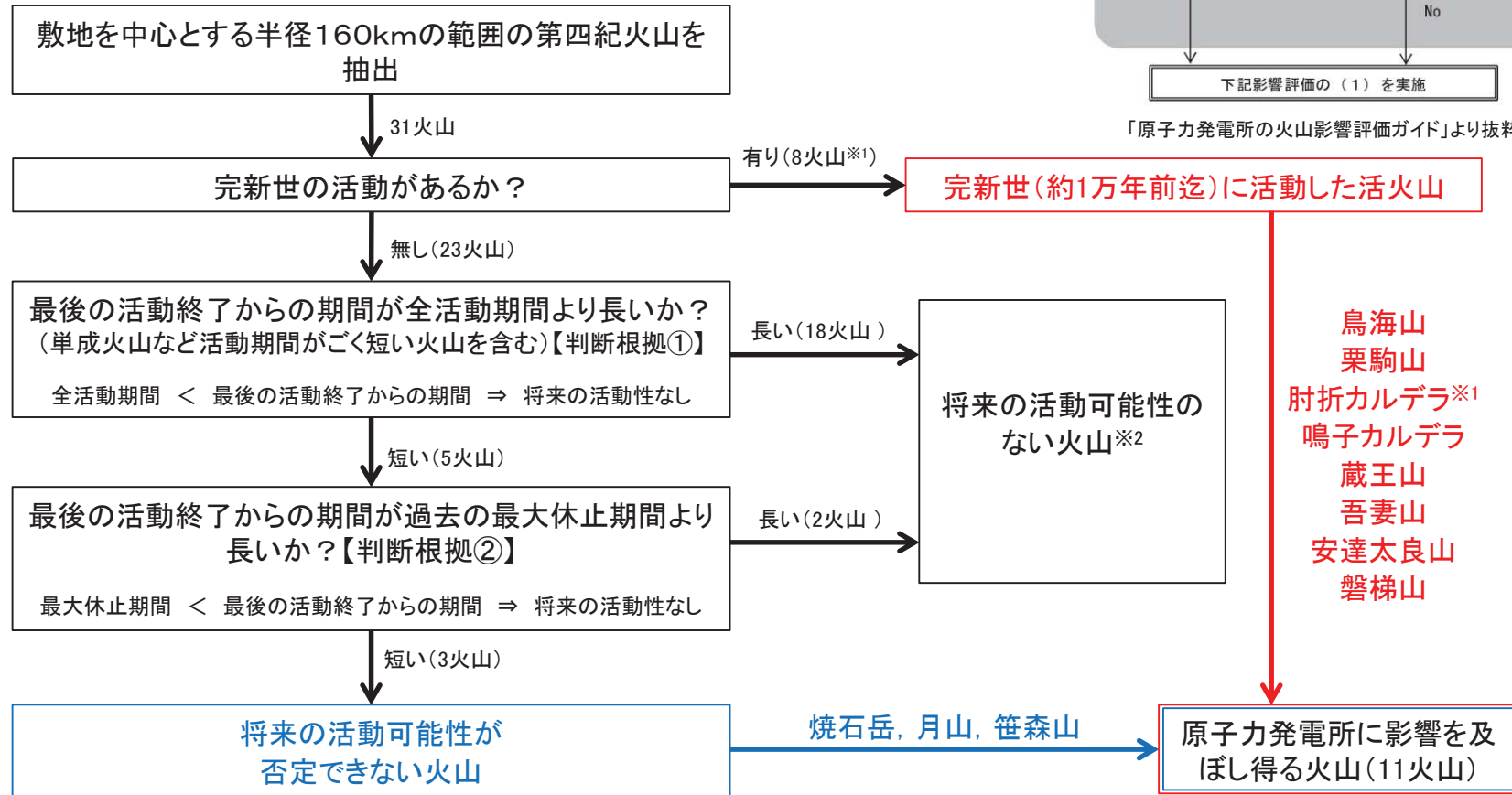
敷地を中心とする半径160kmの範囲の火山地質図
(中野ほか編(2013)による)



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、笹森山、吾妻山、安達太良山及び磐梯山の11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(20火山)の活動履歴を、補足説明資料(p2-34)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】

➤ 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)	最後の活動終了からの期間(万年)	全活動期間(万年)	活動年代※2				完新世の活動	将来の活動可能性		
					新第三紀	第四紀	100万年前	10万年前		1万年前	現在	判断根拠※3
1	青ノ木森	134	約200	約10						なし	なし	①
2	松倉山	126	更新世中期以降	更新世前期						なし	なし	①
3	川尻三森山	111	更新世中期以降	更新世前期						なし	なし	①
4	焼石岳	102	約5	約95						なし	あり	—
5	鳥海山	148	—	約60						あり	—	—
6	甕山	123	約140	約60						なし	なし	①
7	小比内山	109	約60	約40						なし	なし	①
8	高松岳	100	約20	約10						なし	なし	①
9	栗駒山	87	—	約76						あり	—	—
10	鬼首カルデラ	85	約20	約10						なし	なし	①
11	鳴子カルデラ	76	—	約19						あり	—	—
12	赤倉カルデラ	85	約200	約100						なし	なし	①
13	向町カルデラ	94	約60	約40						なし	なし	①
14	肘折カルデラ	117	約1.2	—						あり	—	—
15	月山	129	約30	約58						なし	あり	—
16	薬菜山	72	約100	約70						なし	なし	①
17	七ツ森カルデラ	64	約160	約90						なし	なし	①
18	船形山	77	約56	約89						なし	なし	②
19	安達	76	約8	—						なし	なし	①
20	大東岳	86	約170	—						なし	なし	①
21	神室岳	90	約170	—						なし	なし	①
22	雁戸山	92	約30	約10						なし	なし	①
23	青麻山	85	約30	約10						なし	なし	①
24	蔵王山	97	—	約135						あり	—	—
25	三吉・葉山	107	約230	約10						なし	なし	①
26	白鷹山	117	約80	約20						なし	なし	①
27	笹森山	130	約180	約190						なし	あり	—
28	吾妻山	140	—	約118						あり	—	—
29	安達太良山	136	—	約55						あり	—	—
30	磐梯山	153	—	約90						あり	—	—
31	猫魔ヶ岳	156	約40	約103						なし	なし	②

— : 活動期間を示す。 ※1 中野ほか編(2013)による。 ※3 ①:最後の活動終了からの期間が全活動期間より長い。
◆ : 単一活動として評価。 ※2 中野ほか編(2013)等による。 ②:最後の活動終了からの期間が過去の最大休止期間より長い。

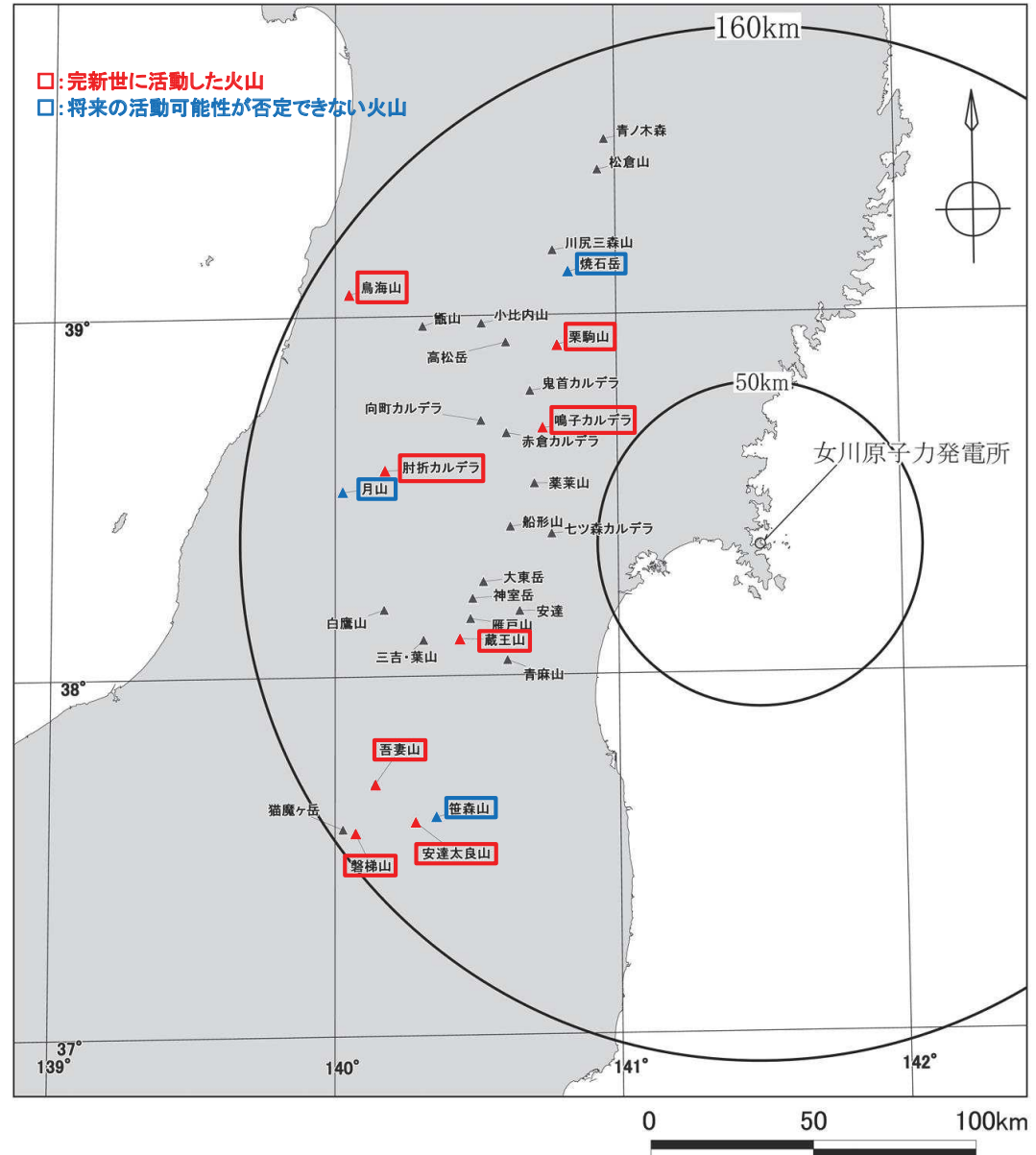
1. 原子力発電所に影響を及ぼし得る火山の抽出

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
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



火山名及び最新活動時期は、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、気象庁編(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。

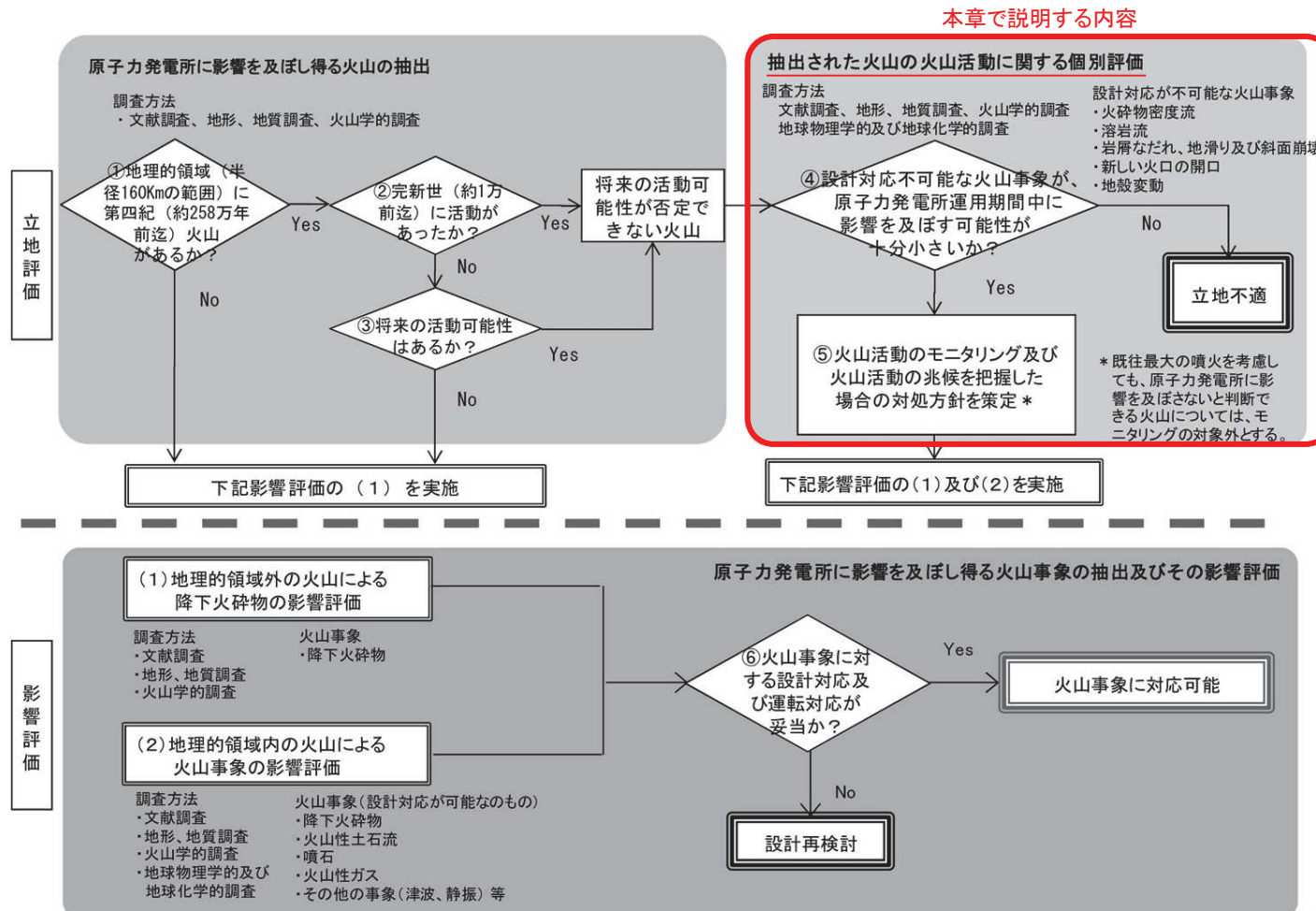


図1 原子力発電所に影響を及ぼす火山影響評価の基本フロー

「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
笹森山	130
吾妻山	140
安達太良山	136
磐梯山	153

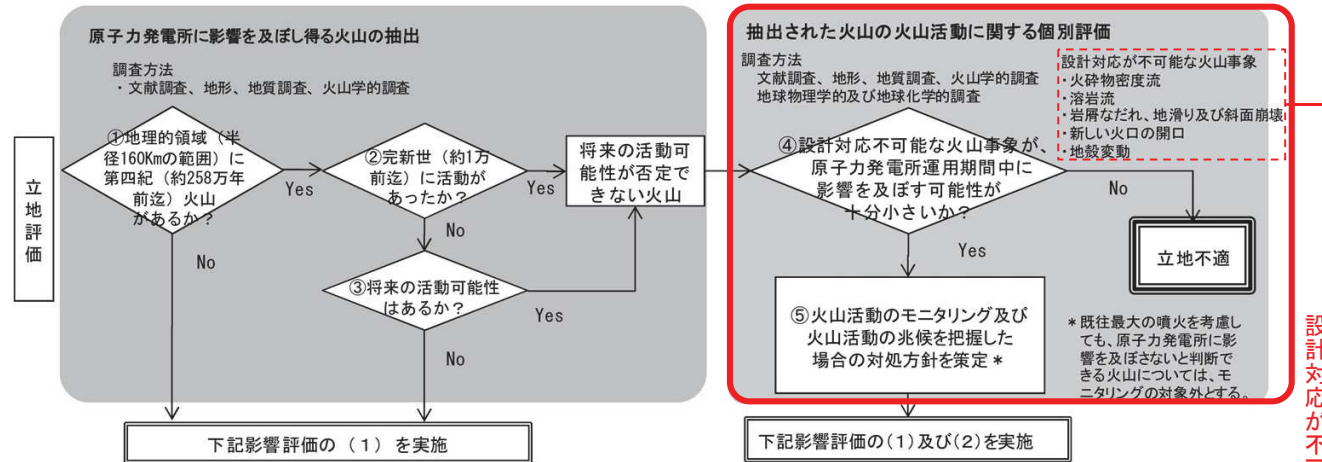


表1 原子力発電所に影響を与える可能性のある火山事象及び位置関係^{注1}

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	地殻変位、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、カルスト及びバイ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。

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

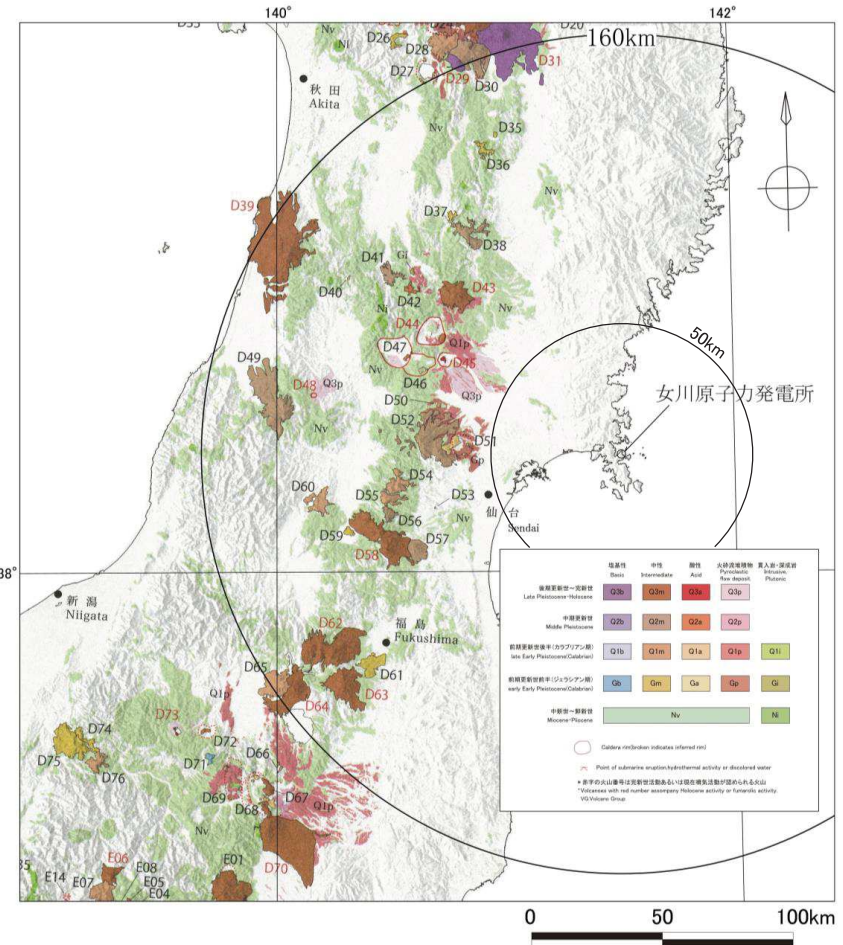
火山名	敷地からの距離(km)	火砕物密度流	溶岩流	岩屑なだれ 他	新しい火口の開口	地殻変動
		160km	50km	50km		
D38 焼石岳	102	○	—	—	○	○
D39 鳥海山	148	○	—	—	○	○
D43 栗駒山	87	○	—	—	○	○
D45 鳴子カルデラ	76	○	—	—	○	○
D48 肘折カルデラ	117	○	—	—	○	○
D49 月山	129	○	—	—	○	○
D58 蔵王山	97	○	—	—	○	○
D61 笹森山	130	○	—	—	○	○
D62 吾妻山	140	○	—	—	○	○
D63 安達太良山	136	○	—	—	○	○
D64 磐梯山	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、火山フロントより約60km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。

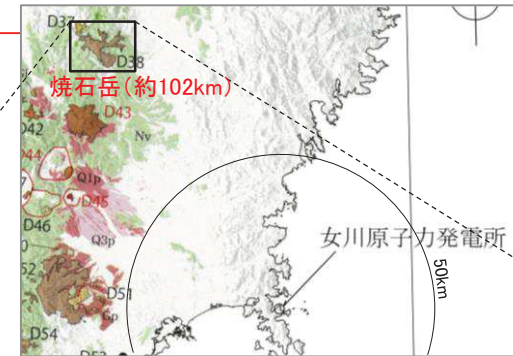


敷地を中心とする半径160kmの範囲の火山地質図
(中野ほか編(2013)による)

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

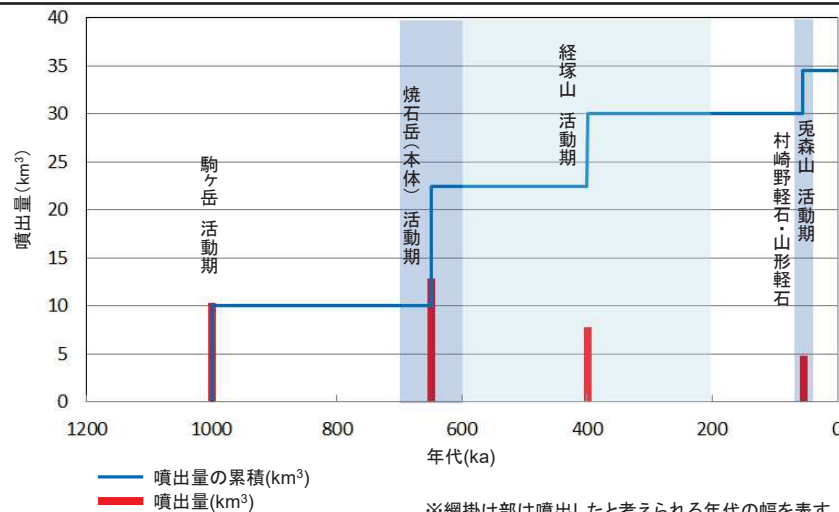
火山名	焼石岳
敷地からの距離	約102km(敷地からの方位角:約326°)
形式/タイプ	複成火山/溶岩卓越タイプ
活動年代	約100万年前~5万年前
概要	焼石岳は岩手県の南西部に位置し、焼石岳(標高:1,548m)を主峰とし、経塚山、駒ヶ岳等から構成される。主に安山岩からなり、デイサイトを伴う小規模火山の群れを形成している。
噴出物	<ul style="list-style-type: none"> ➢ 最大噴出量は約12.5km³、焼石岳(本体)の活動期(70万年前~60万年前)に噴出。 ➢ 最新の噴火活動は、溶岩や火砕岩、山形軽石が噴出した焼石兔森山等の活動期(6万年前~5万年前)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、火砕物密度流の発生は認められないことから、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-年代階段ダイアグラム



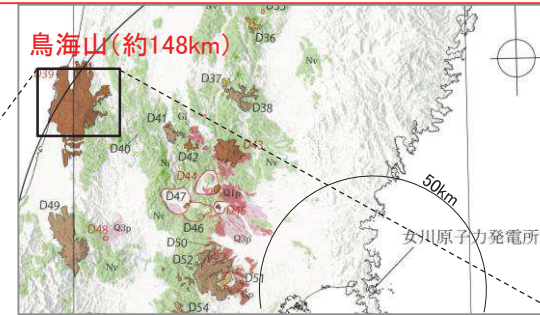
火砕物密度流は記載されていない 焼石岳周辺の火山地質図

概要の表及び噴出量-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】

鳥海山の概要

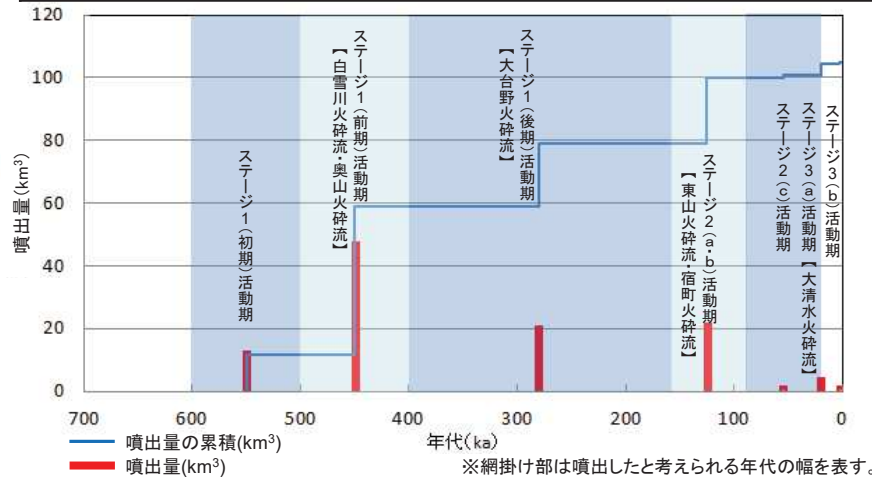
火山名	鳥海山
敷地からの距離	約148km(敷地からの方位角:約302°)
形式/タイプ	複成火山、溶岩ドーム/溶岩卓越タイプ
活動年代	約60万年前～AD1974年
概要	鳥海山(標高:2,237m)は、秋田県と山形県の県境に位置し、多量の溶岩とそれに伴う少量の火砕岩からなる成層火山で、溶岩地形の凹凸が著しく、2つの馬蹄形カルデラを持つ。大部分の噴出物は安山岩質であり、少量の玄武岩を伴う。
噴出物	<ul style="list-style-type: none"> ➢ 最大噴出量は約47km³、古期成層火山活動期(50万年前～40万年前)に噴出。 ➢ 最新の噴火活動は、泥流・降灰を伴った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。



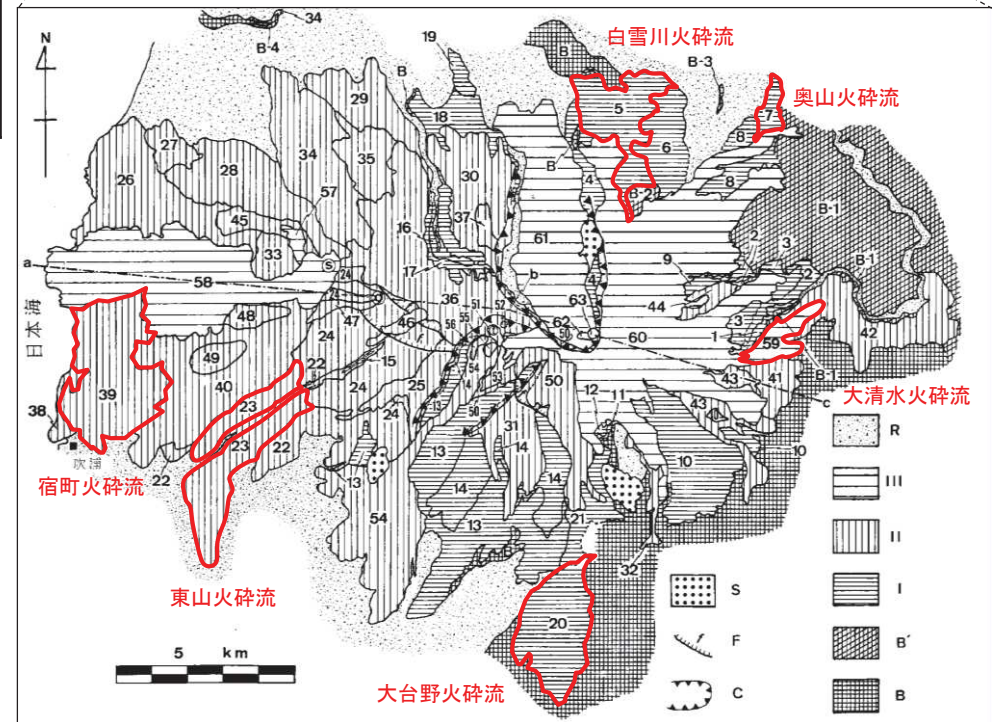
敷地を中心とする半径160kmの範囲の火山地質図(中野ほか編(2013)による)

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-年代階段ダイアグラム



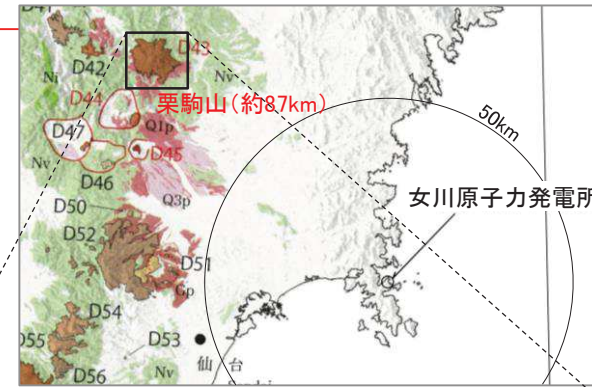
鳥海山火山地質図(林(1984)に一部加筆)

概要の表及び噴出量-年代階段ダイアグラムは、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。噴出量-年代階段ダイアグラムについては、山元(2014)との比較・検討を行い、概ね整合していることを確認した。

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

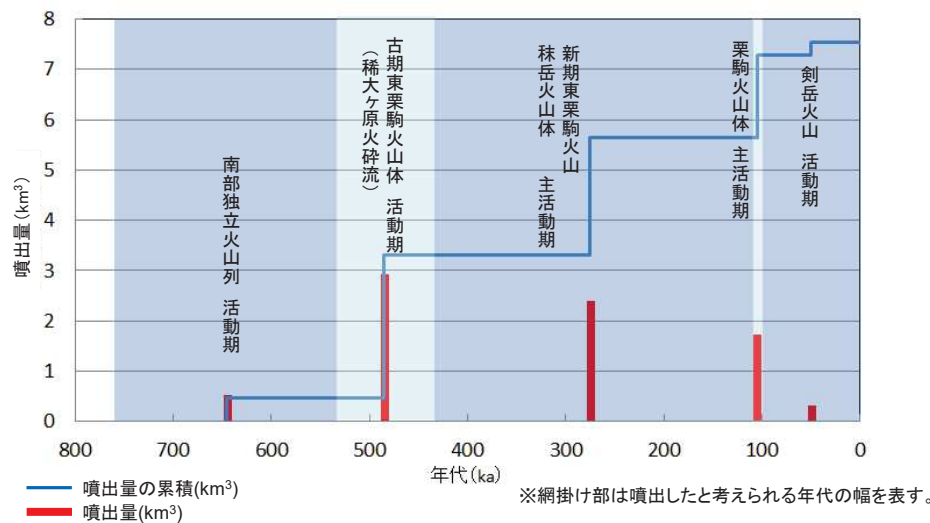
火山名	栗駒山
敷地からの距離	約87km(敷地からの方位角:約315°)
形式/タイプ	複成火山、溶岩ドーム/溶岩卓越タイプ
活動年代	約76万年前～AD1944年
概要	栗駒山(標高:1,627m)は、岩手県、秋田県、宮城県の間境付近に位置し、複数の山体から成り、東方に東栗駒山、西方に御駒山、南西方に虚空蔵山、南方に大地森など小さな火山体が北北西-南南東方向に配列する。主に安山岩からなる。
噴出物	<ul style="list-style-type: none"> ➢ 最大噴出量は約3.3km³、古期東栗駒及び南部独立火山列の活動期(53万年前～44万年前)に噴出。 ➢ 最新の噴火活動は、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、5層確認されており、分布範囲は山体周辺に限られる。



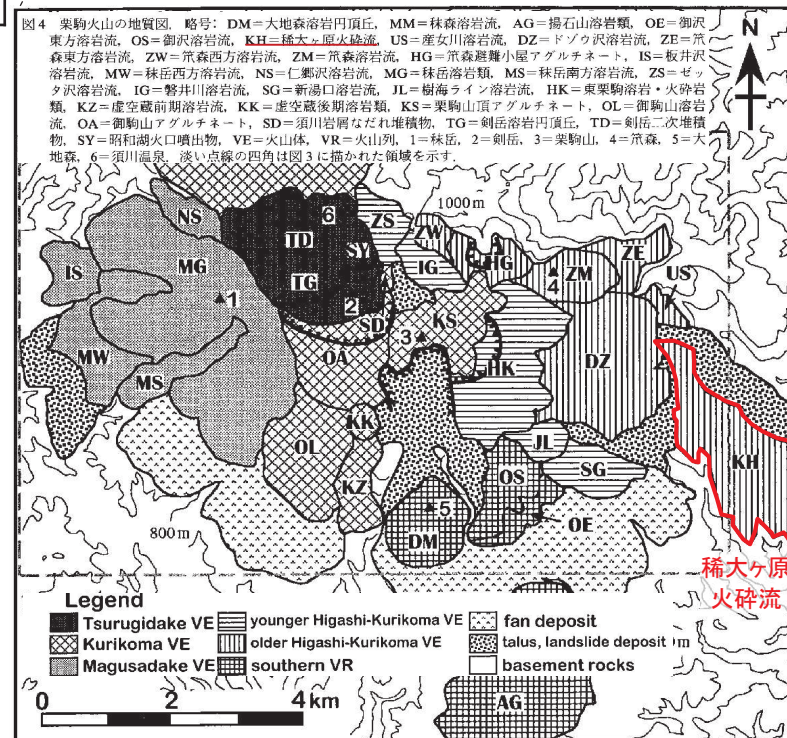
敷地を中心とする半径160kmの範囲の火山地質図
(中野ほか編(2013)による)

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



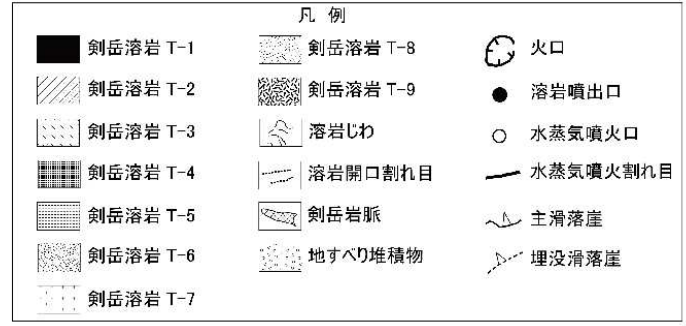
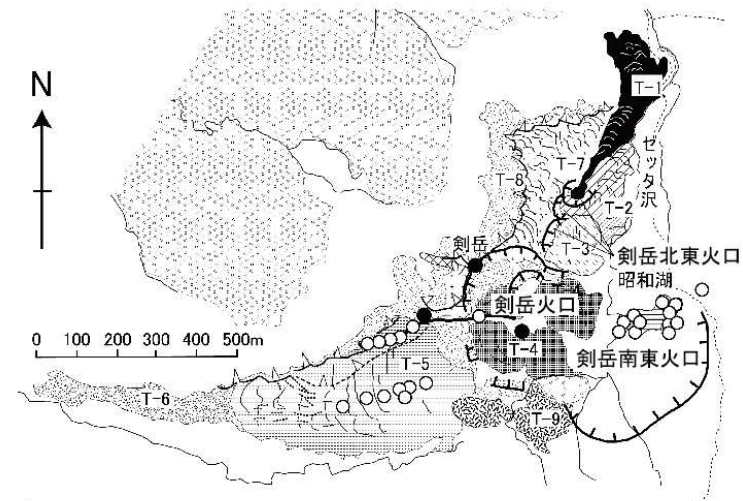
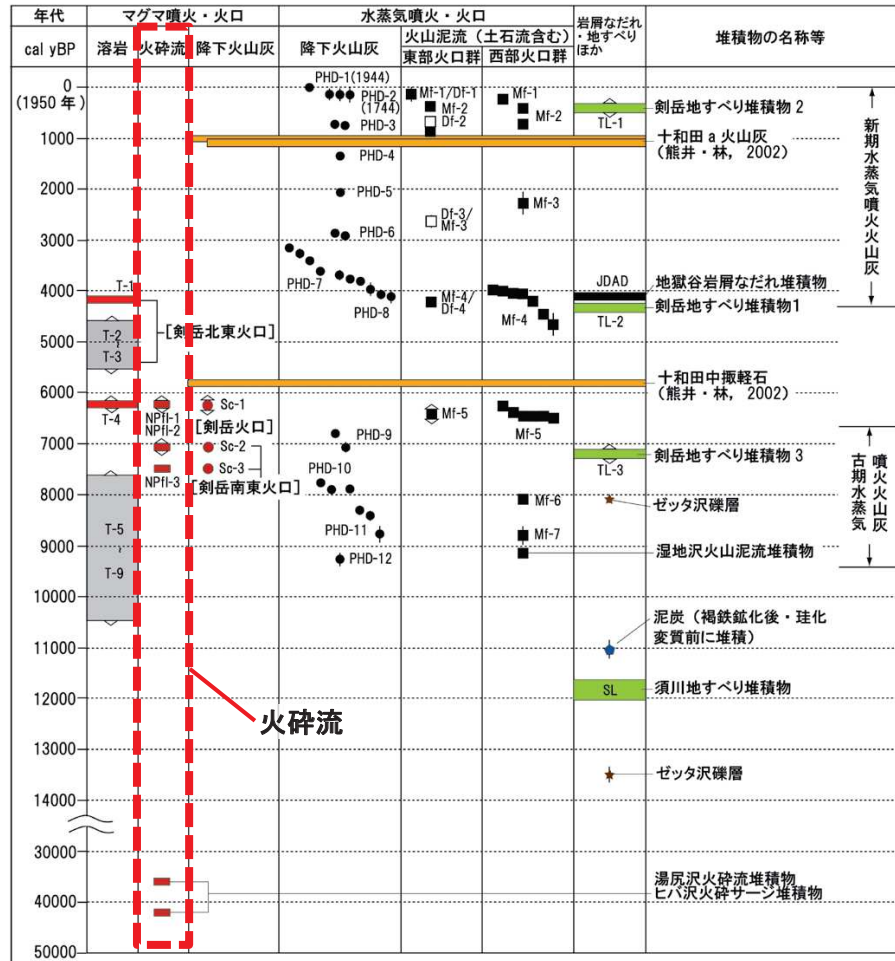
栗駒火山の地質図(藤縄ほか(2001)に一部加筆)
(稀大ヶ原火砕流以外の火砕物密度流の詳細は次頁に示す)

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)、土井(2018)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。噴出量一年代階段ダイヤグラムについては、山元(2014)との比較・検討を行い、概ね整合していることを確認した。

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: 文献調査結果】

- 土井(2018)では、稀大ヶ原火砕流以外の火砕物密度流が4層確認されている旨の記載はあるものの、地質図上には図示されていない。



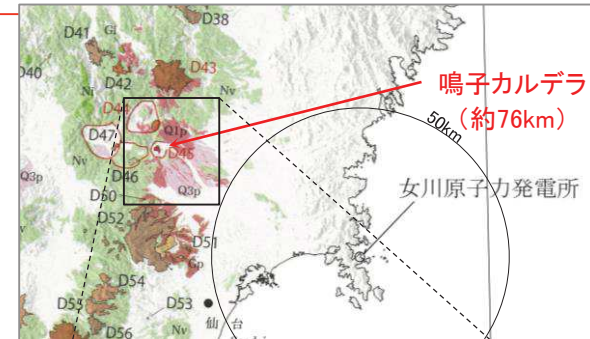
完新世剣岳の地質図
(土井(2018))

栗駒火山の完新世噴出物の年代図
(土井(2018))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

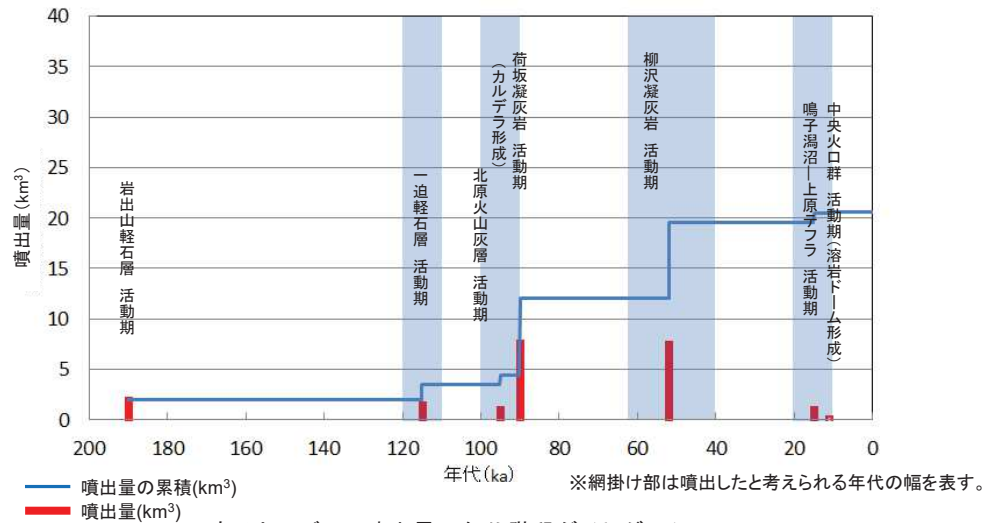
火山名	鳴子カルデラ
敷地からの距離	約76km(敷地からの方位角:約299°)
形式/タイプ	カルデラ、溶岩ドーム/降下火砕物卓越タイプ
活動年代	約19万年前～AD837年
概要	鳴子カルデラは、宮城県北西部に位置し、直径約7kmの不鮮明な輪郭をもつカルデラとその中央部の溶岩ドーム群からなる。デイサイトの4つの溶岩ドームが一群をなし、それらに囲まれた酸性の火口湖・湯沼の内外やその西側の溶岩ドームの壁では噴気活動が盛んである。
噴出物	<ul style="list-style-type: none"> ➢ 最大噴出量は約8.09km³、カルデラ形成期(約9万年前)に噴出。 ➢ 最新の噴火活動は、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。



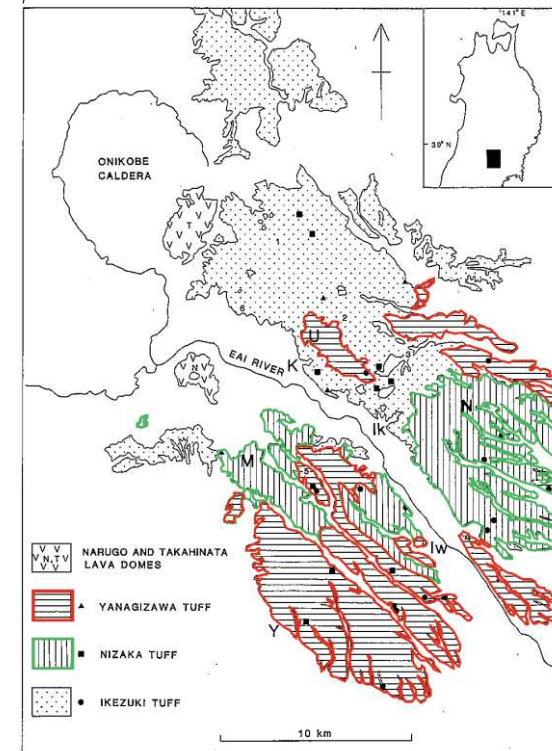
敷地を中心とする半径160kmの範囲の火山地質図
(中野ほか編(2013)による)

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。



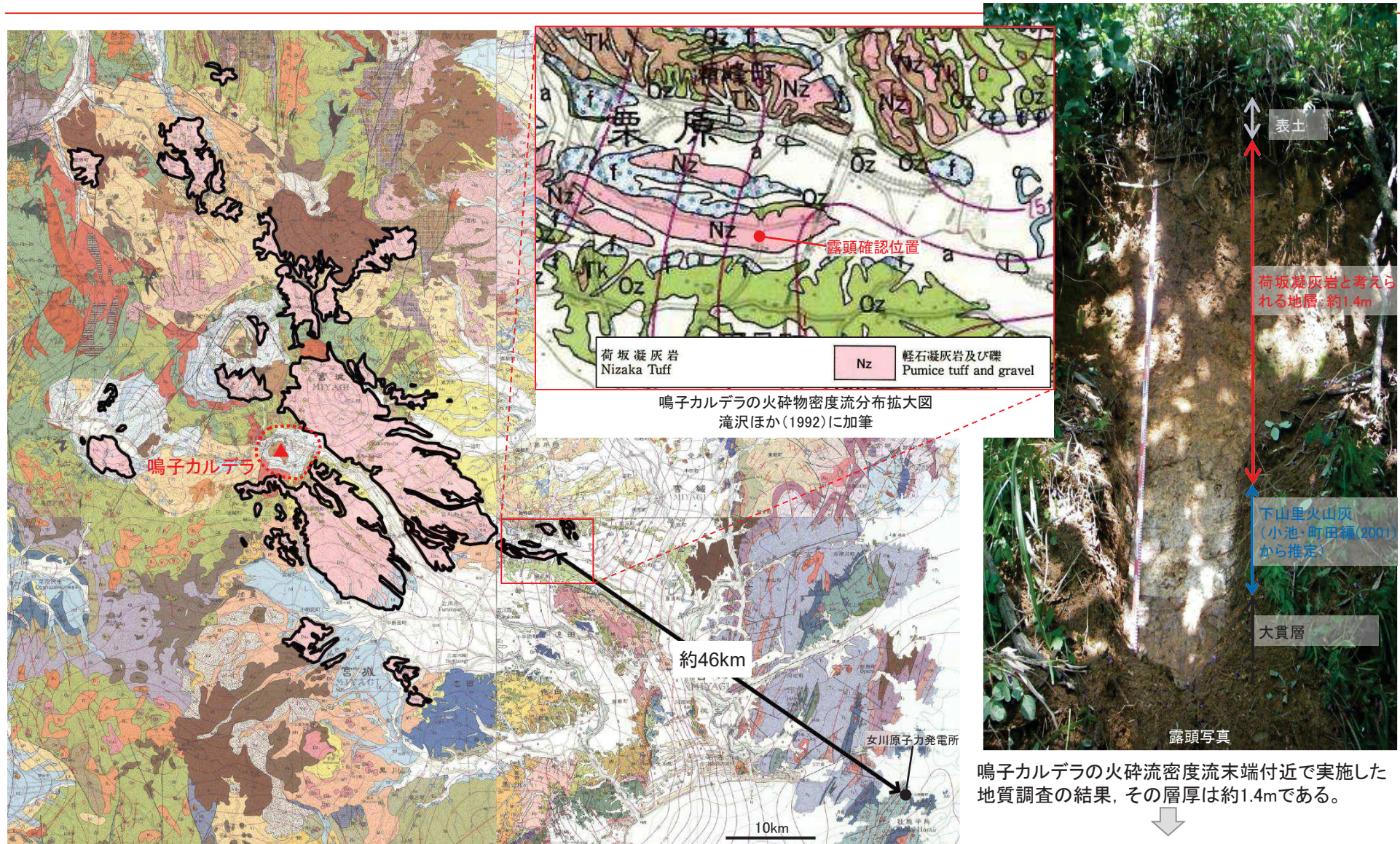
鳴子カルデラの噴出量-年代階段ダイヤグラム



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-年代階段ダイヤグラムは、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。噴出量-年代階段ダイヤグラムについては、山元(2014)との比較・検討を行い、概ね整合していることを確認した。

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】



荷坂凝灰岩 Nizaka Tuff	Nz	軽石凝灰岩及び礫 Pumice tuff and gravel
----------------------	----	------------------------------------

鳴子カルデラの火砕物密度流分布拡大図
滝沢ほか(1992)に加筆

鳴子カルデラ

約46km

女川原子力発電所

表土

荷坂凝灰岩と考えられる地層: 約1.4m

下山里火山灰
(小池・町田編(2001)から推定)

大貫層

露頭写真

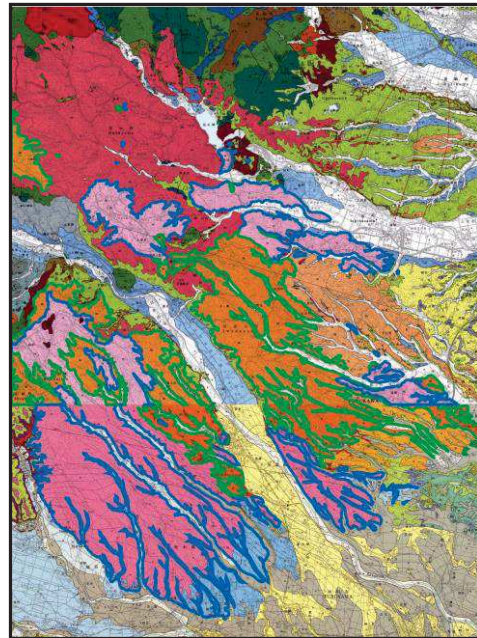
鳴子カルデラの火砕流密度流末端付近で実施した地質調査の結果, その層厚は約1.4mである。



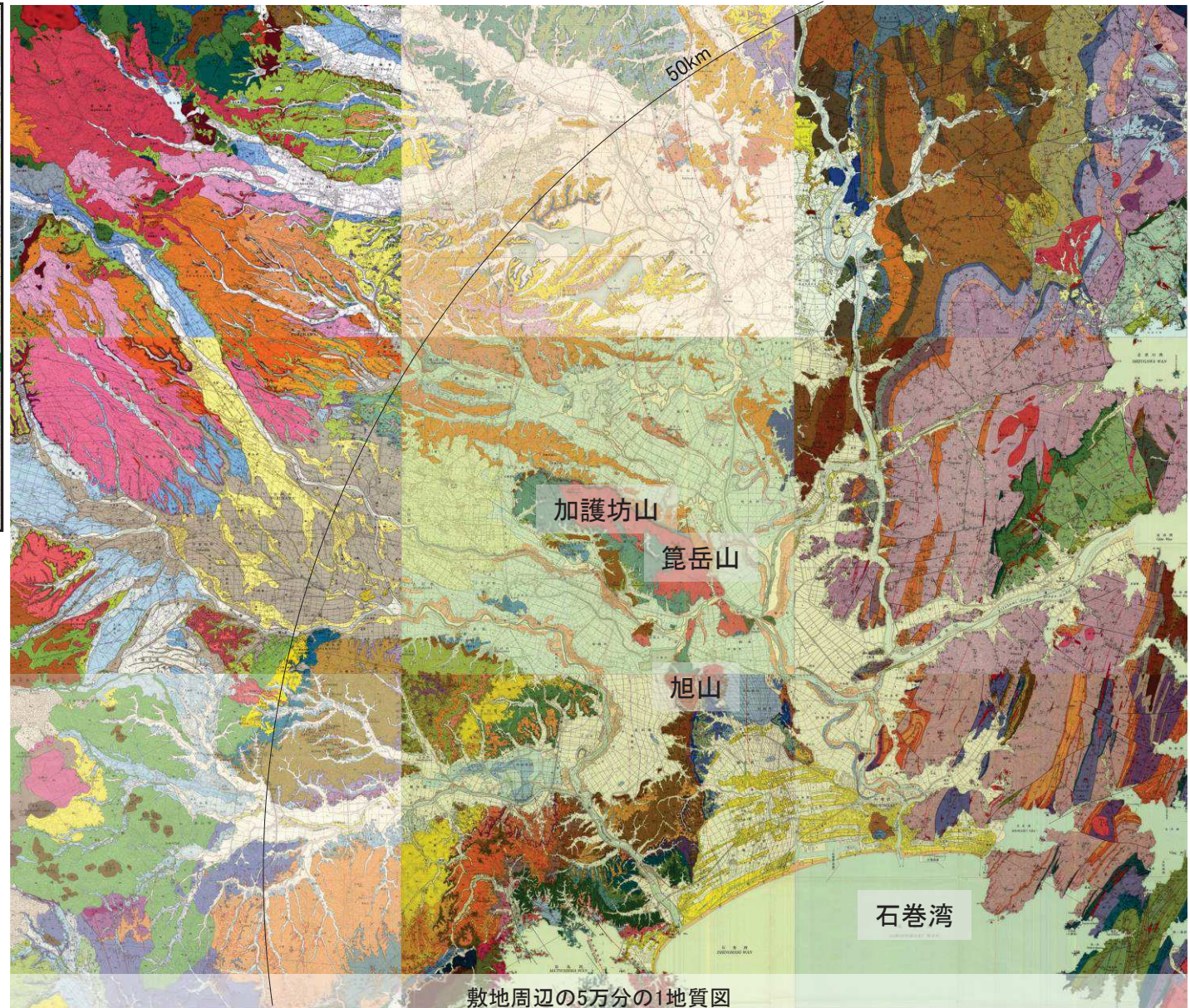
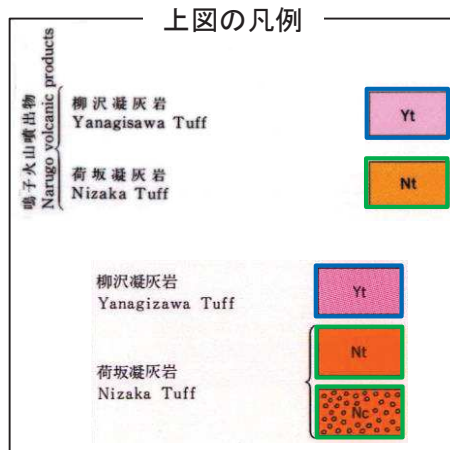
鳴子カルデラの火砕物密度流末端部付近の層厚約1.4mを考慮しても, 敷地からは約46km離れており, 発電所に影響を及ぼす可能性はない。

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)

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



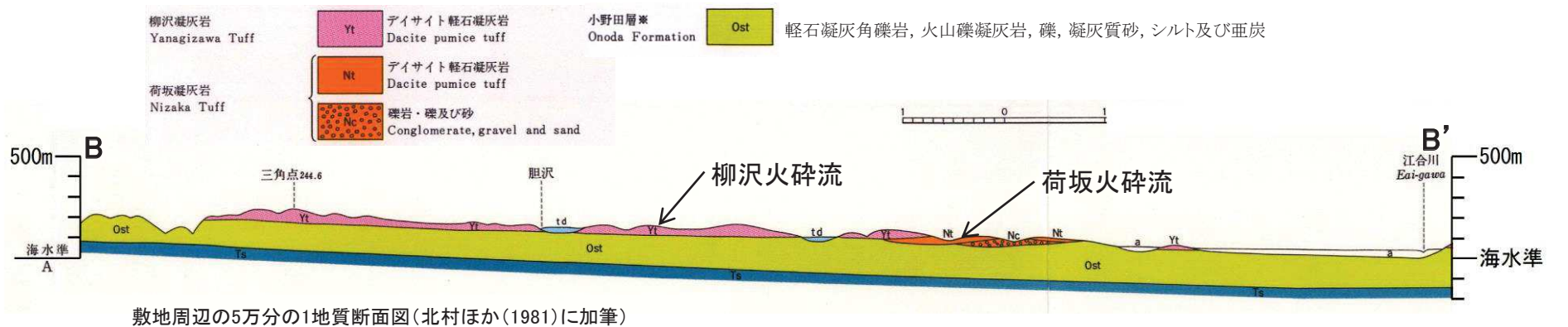
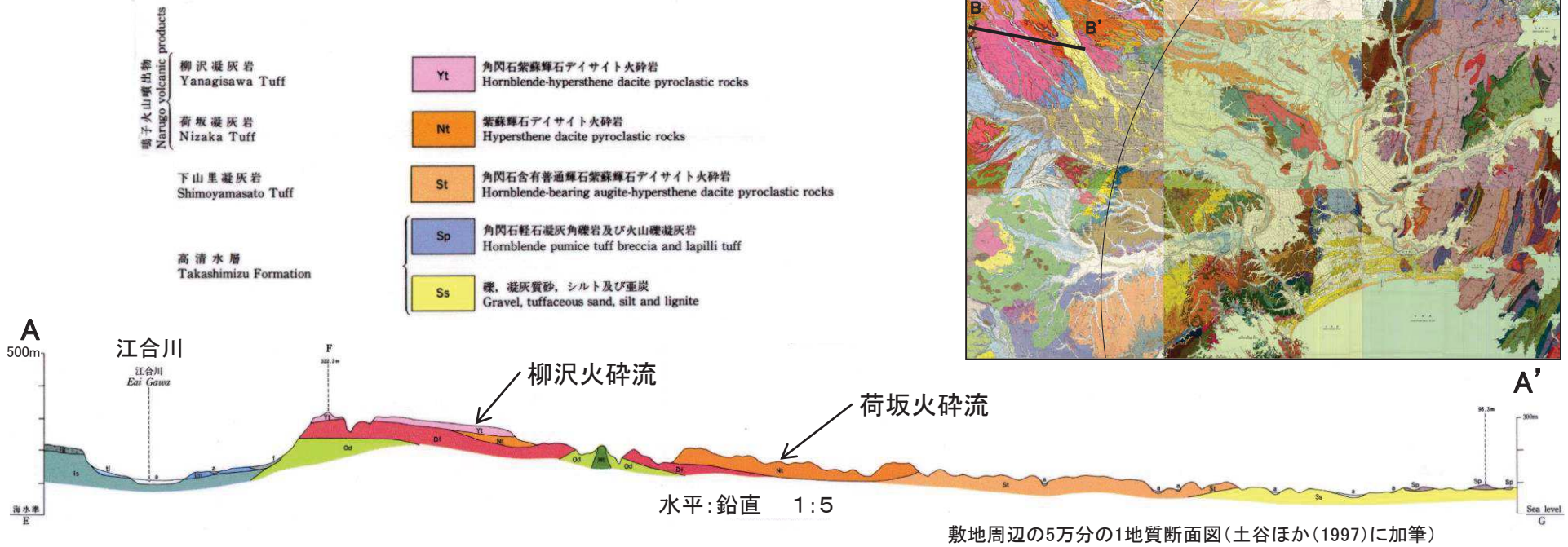
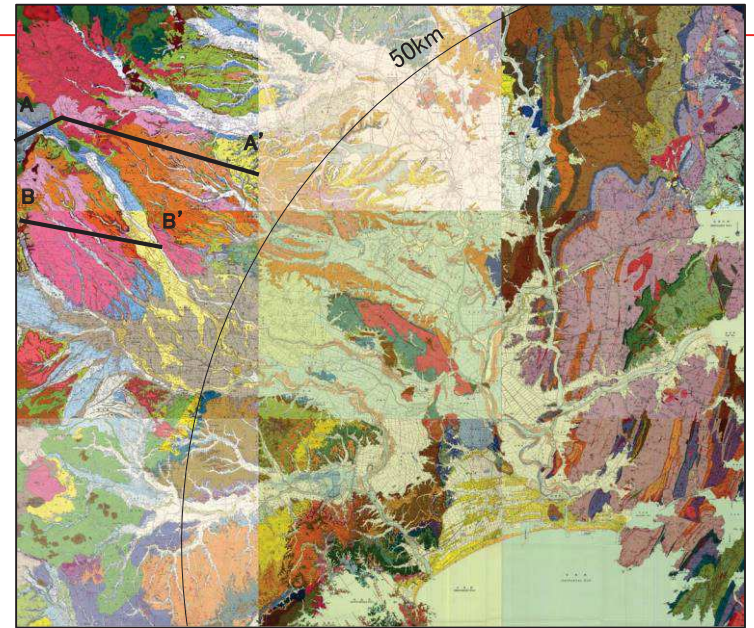
敷地周辺の5万分の1地質図

(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】

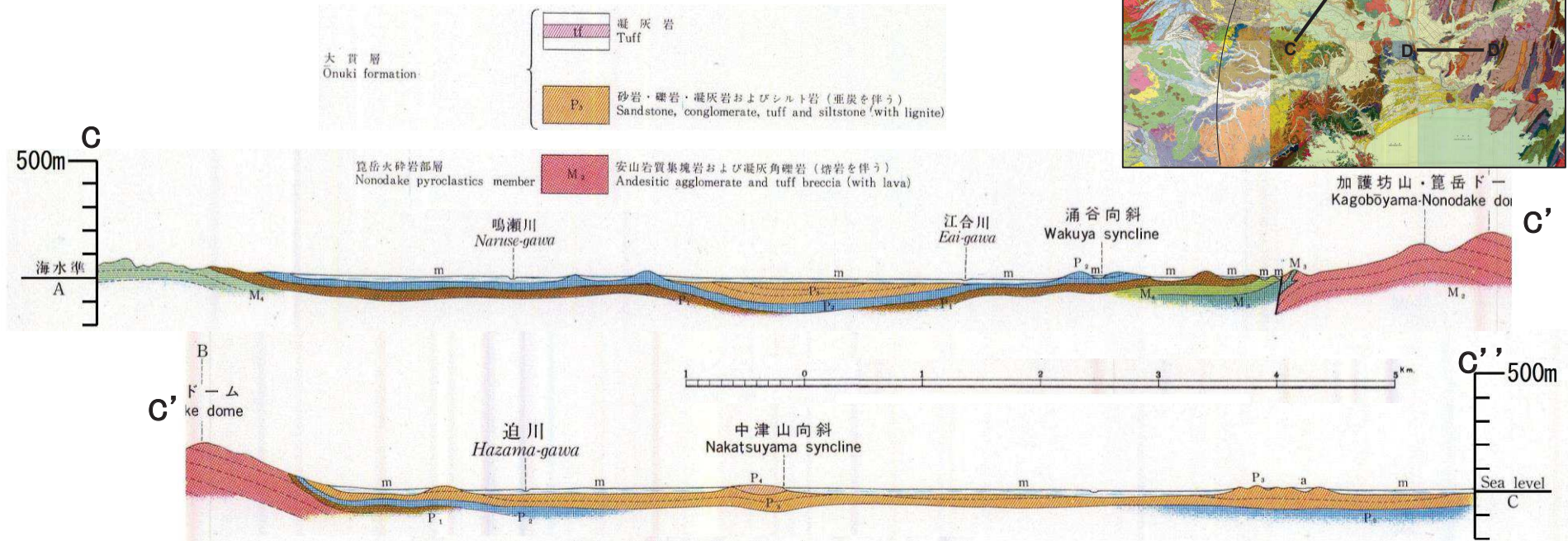
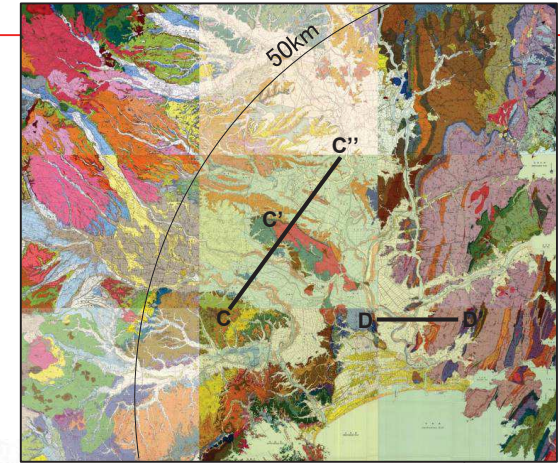
- 5万分の1地質図(土谷ほか(1997), 北村ほか(1981))によれば, 敷地を中心とする半径50km以遠に鳴子カルデラから噴出した火砕流が分布している。



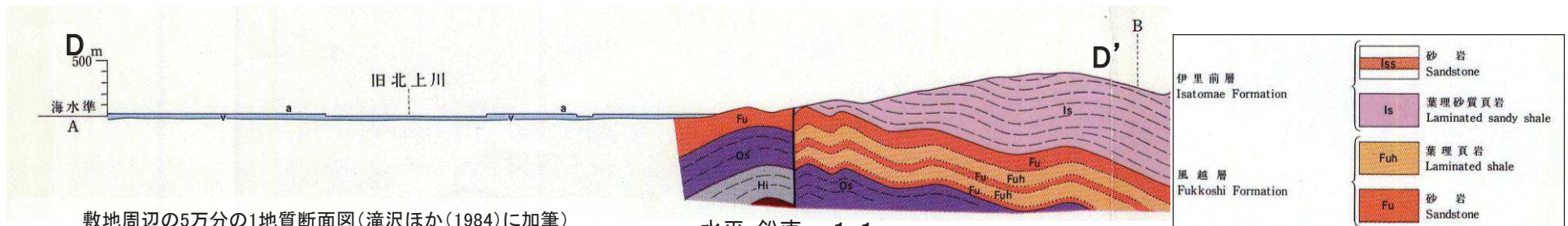
2. 抽出された火山の火山活動に関する個別評価

【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(2011)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。

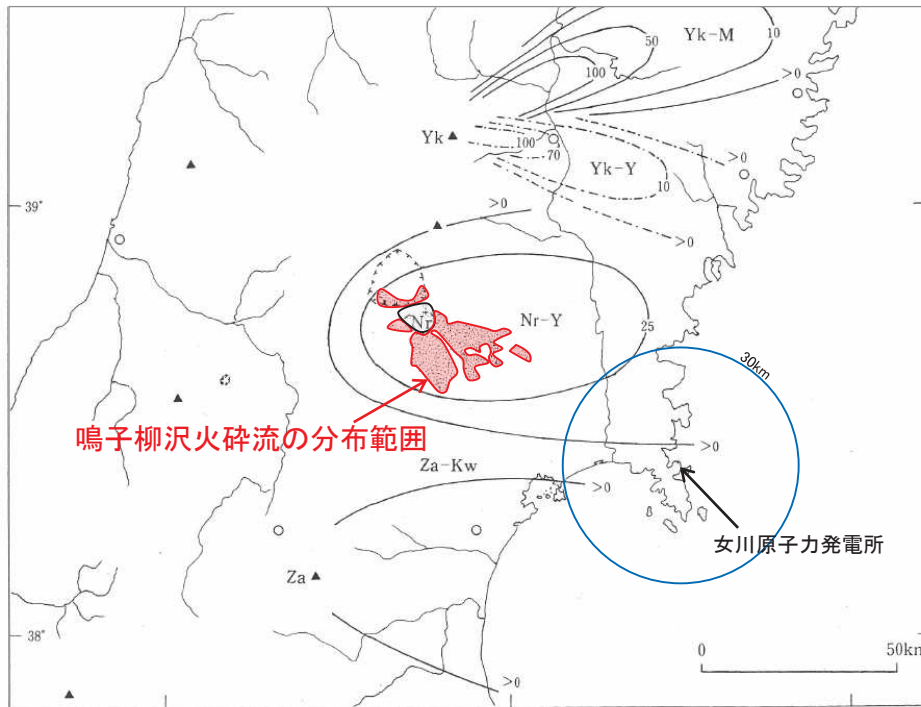


図 3.4-3 東北地方の後期更新世主要テフラの等層厚線図 (その1).
Ak-Y 秋田駒柳沢^{1,7)} Ak-K 秋田駒小岩井¹⁾ Za-Kw 蔵王川崎²⁾ Yk-Y 焼石山形³⁾
Yk-M 焼石村崎野³⁾ Nr-Y 鳴子柳沢⁴⁾ (pfの分布も示す) To-G 十和田合同^{5,6)} To-Rd 十和田レッド^{5,6)}
To: 十和田, Iw: 岩手, Ak: 秋田駒, Yk: 焼石, Nr: 鳴子, Za: 蔵王.
[1] 大上・土井 (1978), 2) Arai et al. (1986), 3) 大上・吉田 (1984), 4) 早田 (1989b), 5) 大池・中川 (1979), 6) 松山・大池 (1986), 7) 土井 (1990)]

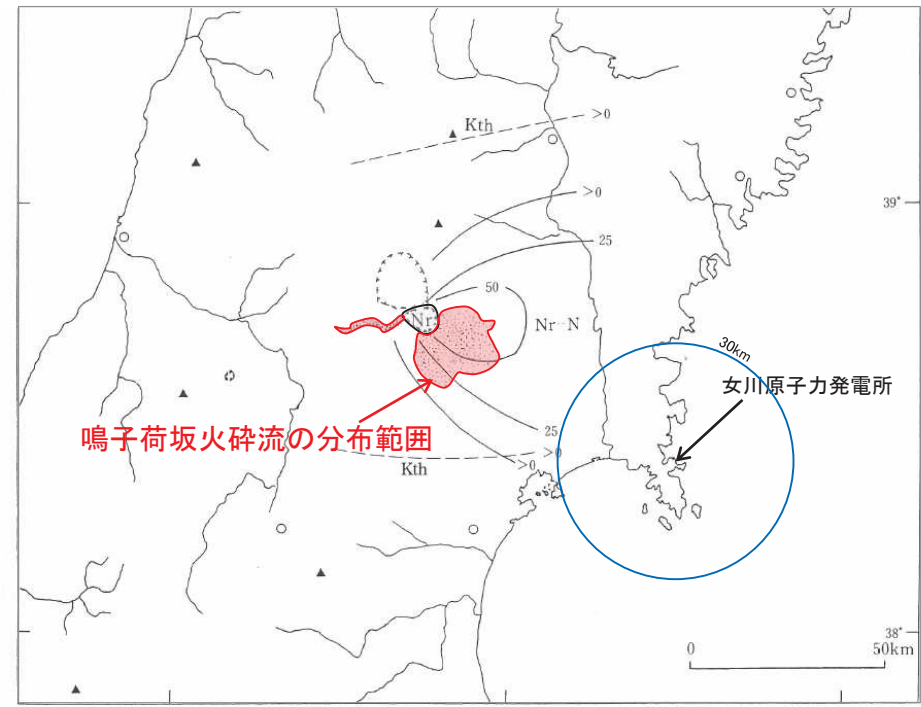


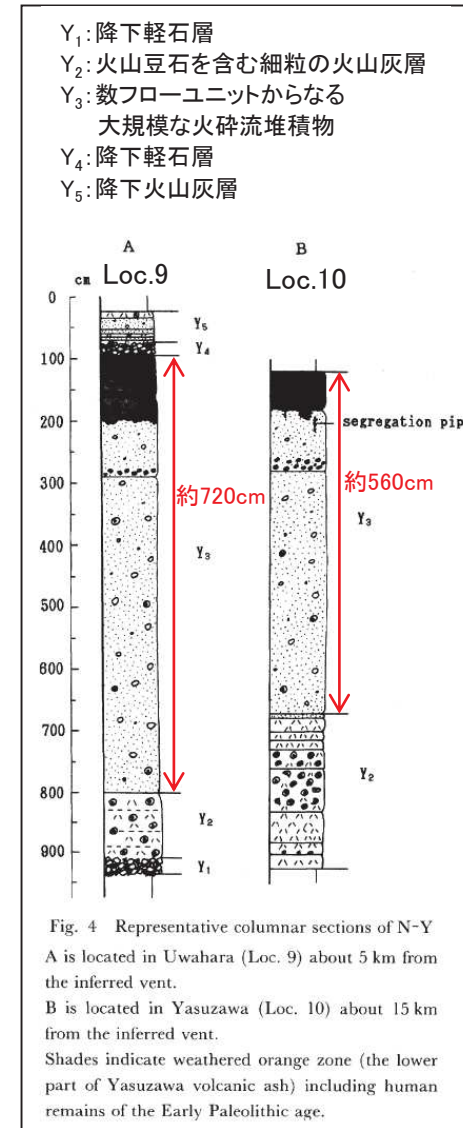
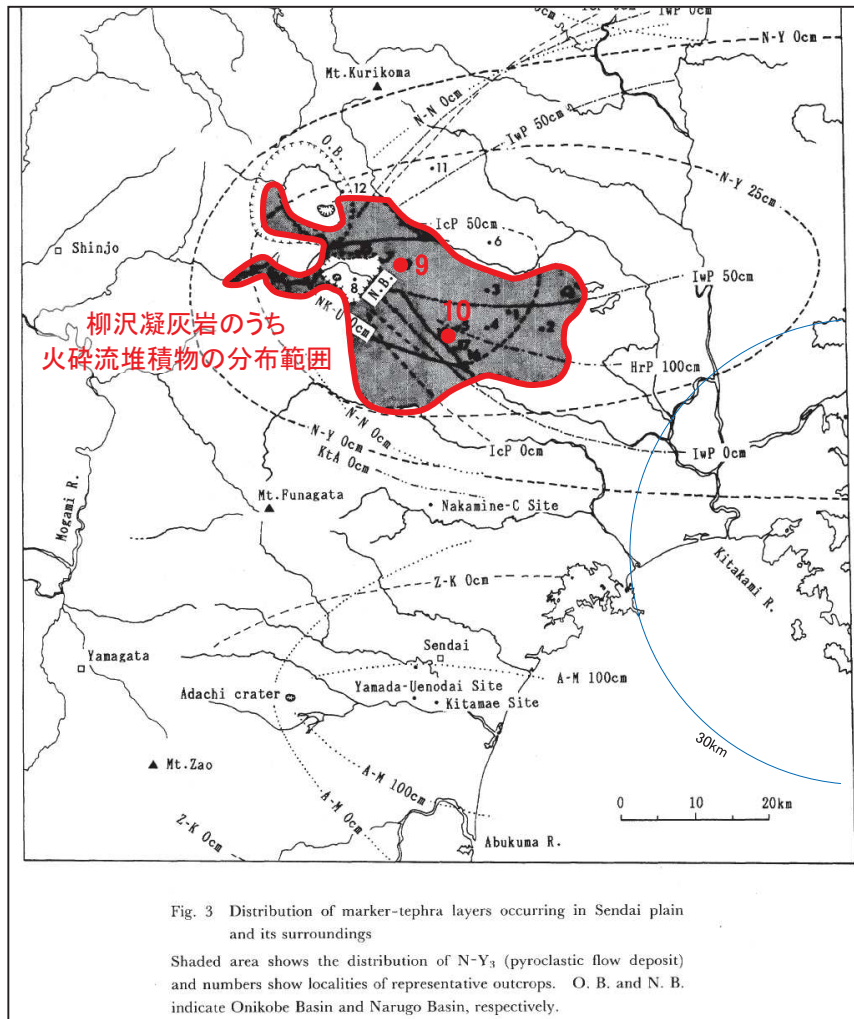
図 3.4-4 東北地方の後期更新世主要テフラの等層厚線図 (その2).
To-SP 十和田 SP^{1,2)} To-Ok₂ 十和田オコシ 2^{1,2)} To-QP 十和田 QP^{1,2)} Kw 十和田川口^{3,5)}
Iw-Od 西岩手生出⁶⁾ Iw-Y 西岩手雪浦⁶⁾ Nr-N 鳴子荷坂 (pfの分布も示す)⁴⁾ Kth 北原⁴⁾
To: 十和田, Iw: 岩手, Nr: 鳴子.
[1] 大池・中川 (1979), 2) 松山・大池 (1986), 3) 大上・土井 (1978), 4) 早田 (1989b), 5) 土井 (1990), 6) 土井 (1991)]

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(2011)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



柳沢凝灰岩の分布範囲及び模式柱状図(早田(1989))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。

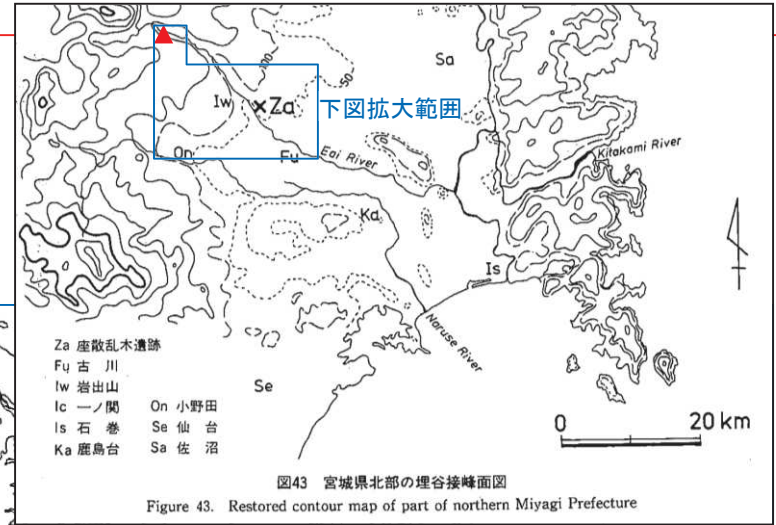
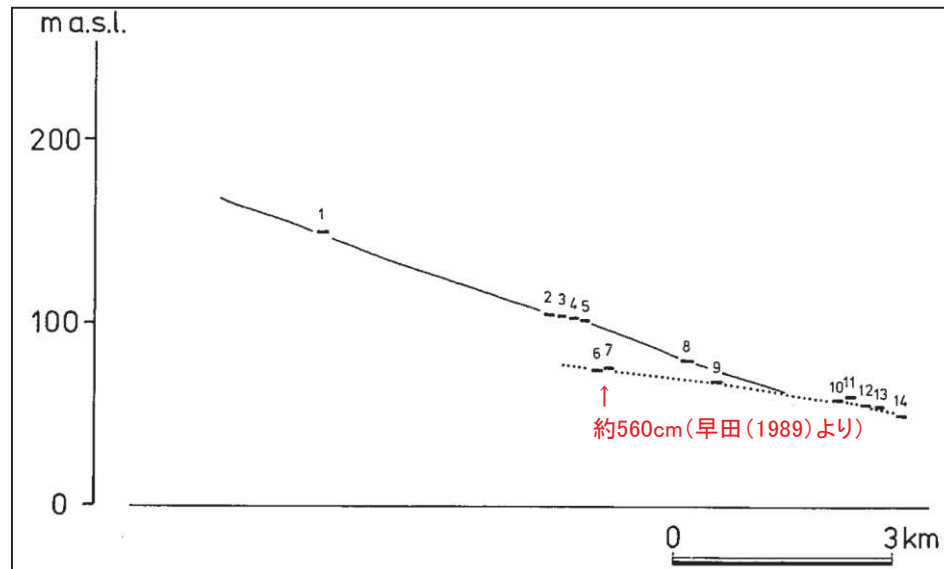
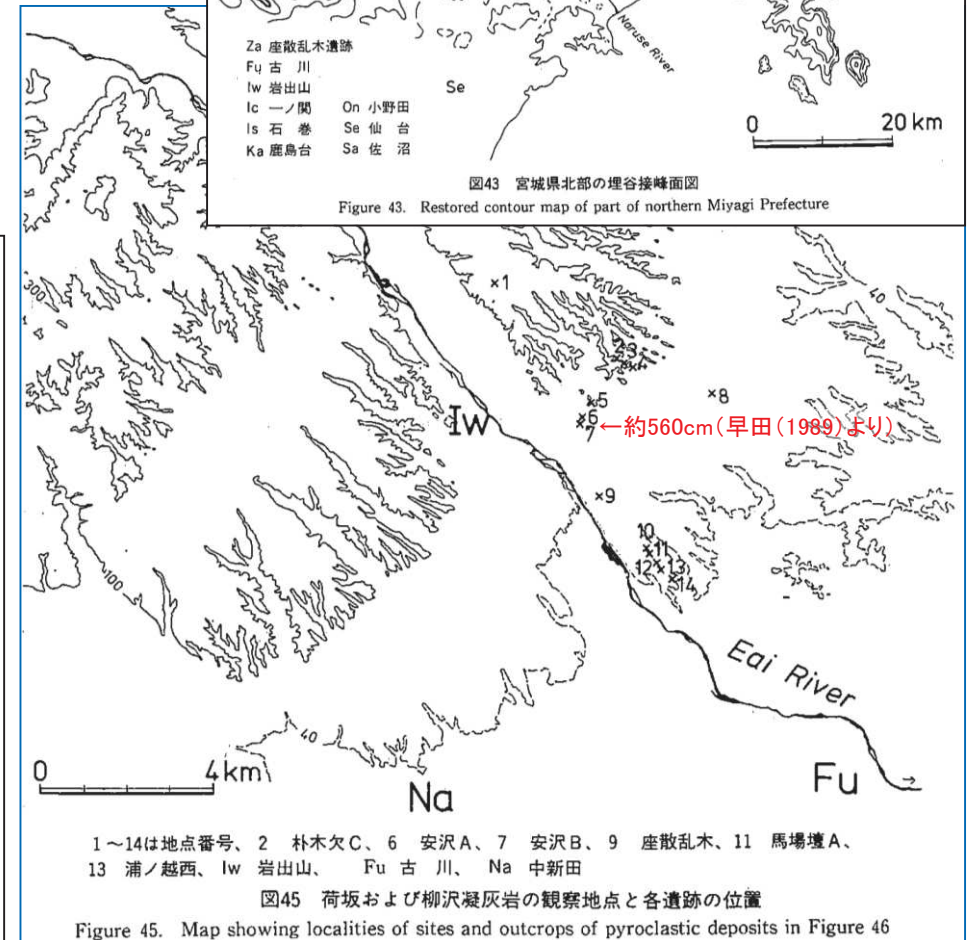


図43 宮城県北部の埋谷接峰面図
Figure 43. Restored contour map of part of northern Miyagi Prefecture



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。

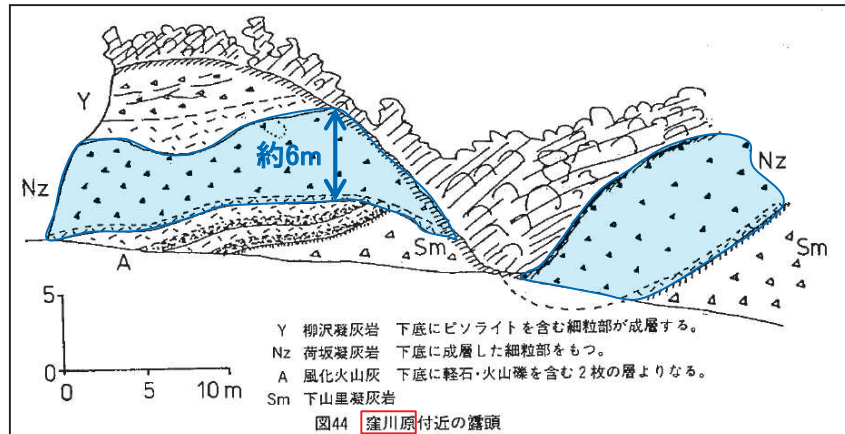


Figure 44. Outcrop of pyroclastic deposits (the Yanagizawa tuff, the Nizaka tuff, and the Shimoyamazato tuff) at Kubokawara, to the west of Iwadeyama-cho

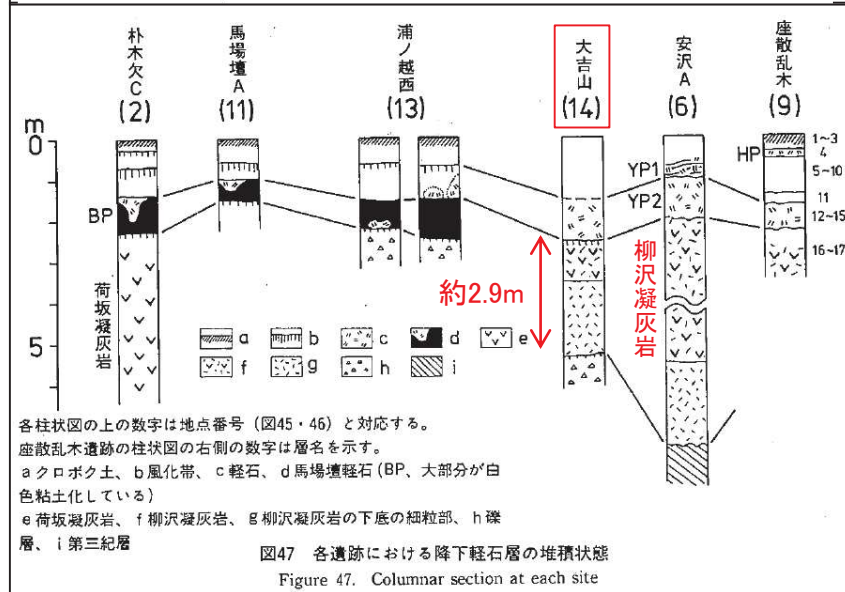
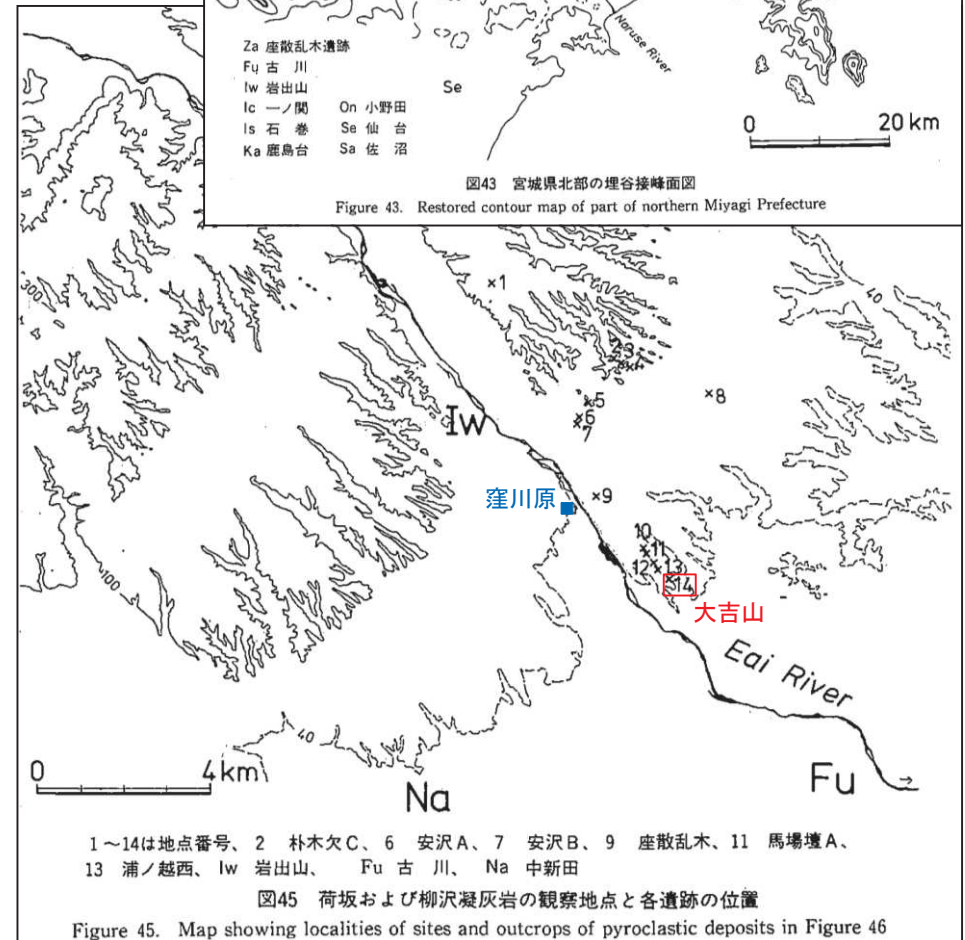
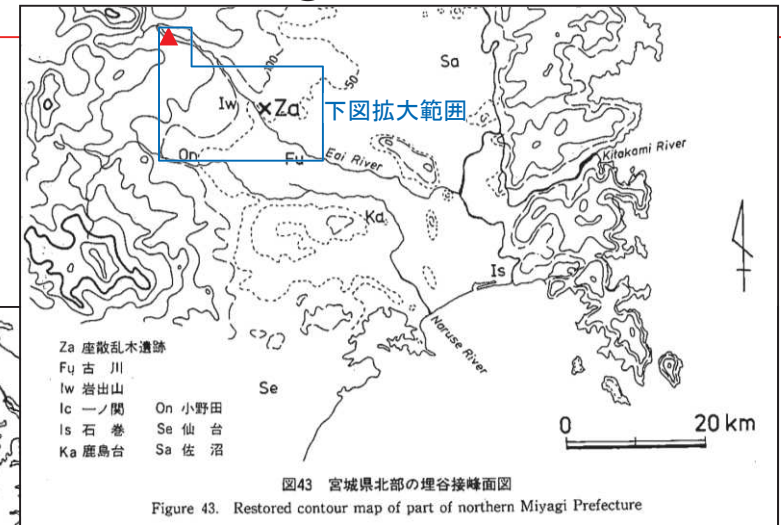


Figure 47. Columnar section at each site



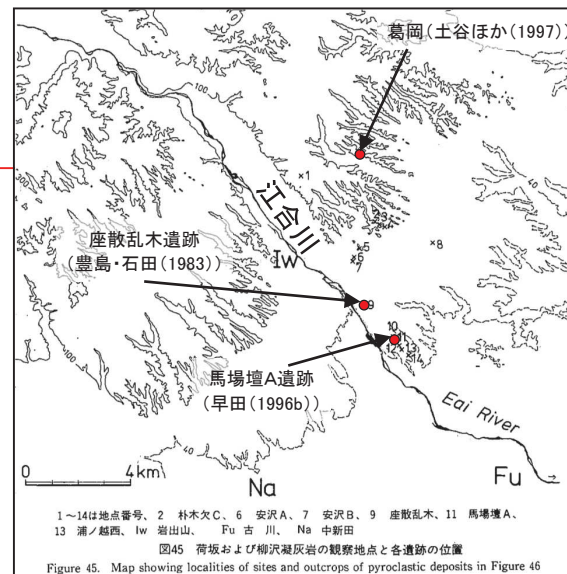
荷坂及び柳沢凝灰岩の観測地点と観測地点高度の投影図(豊島・石田(1983)に一部加筆)

2. 抽出された火山の火山活動に関する個別評価

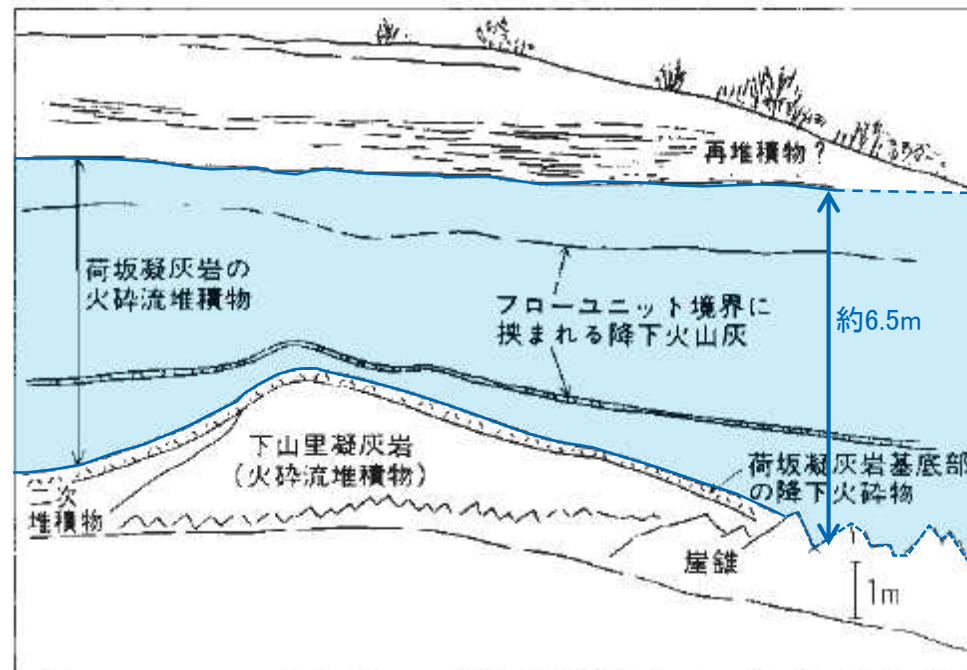
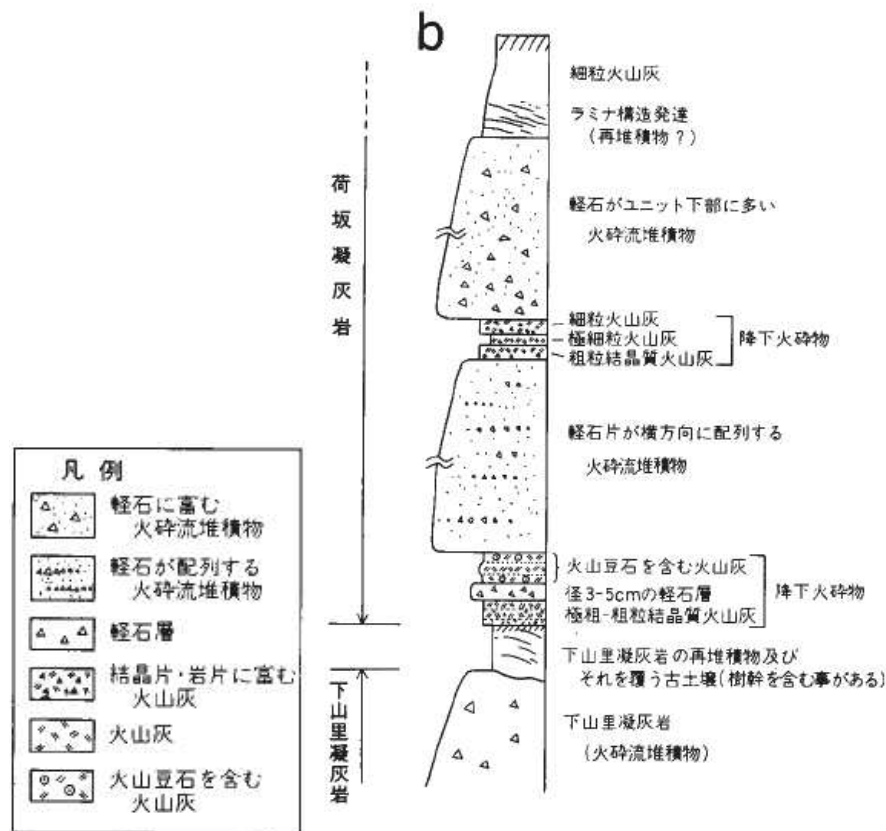
【鳴子カルデラの火砕物密度流に関する評価

:文献調査結果⑥】

➤ 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】

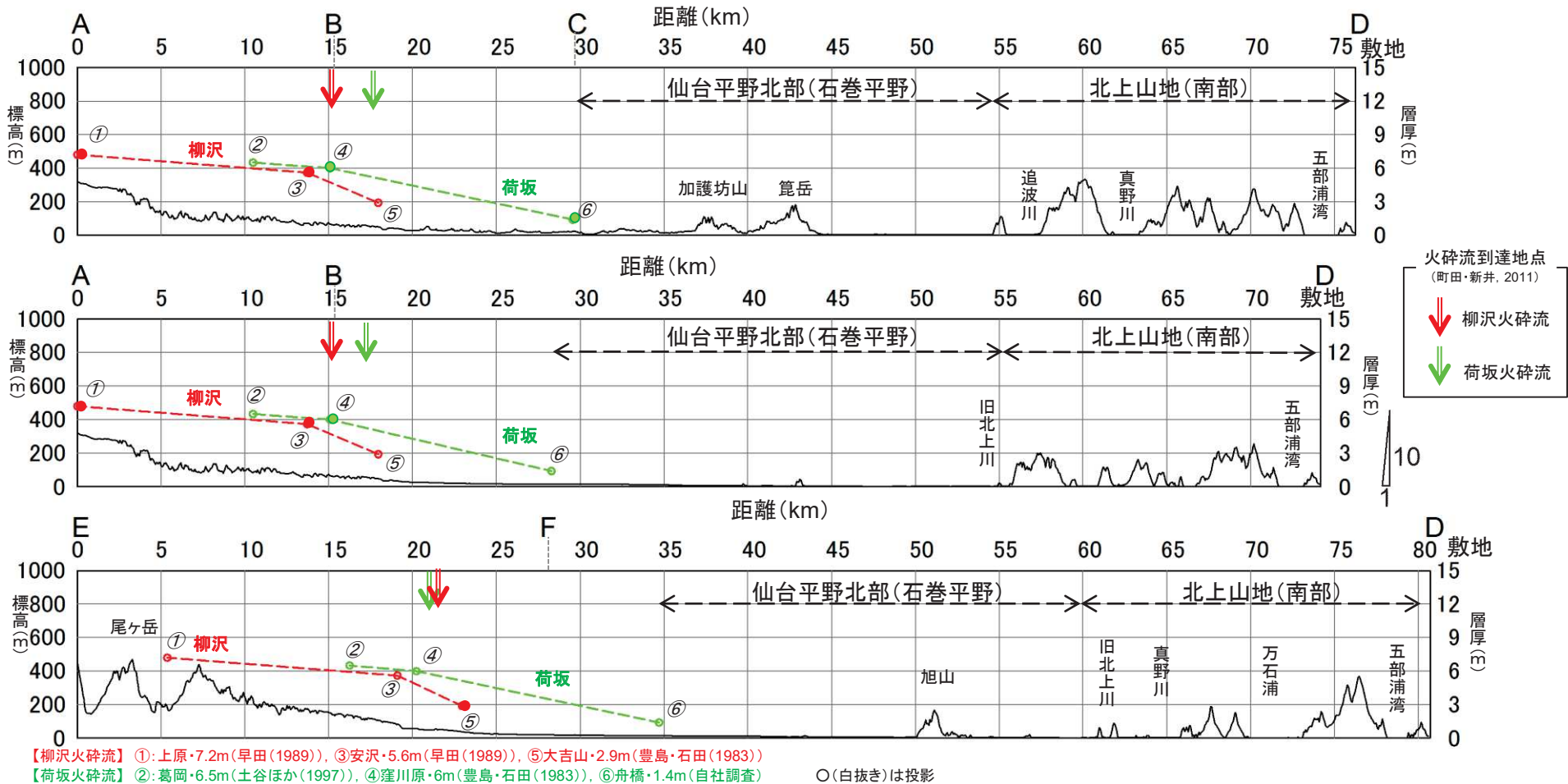
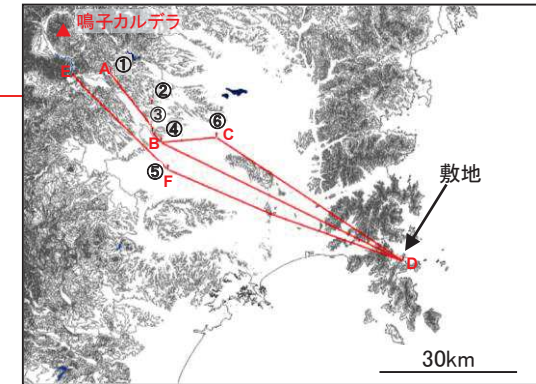
鳴子カルデラから敷地までの地形断面は下図のとおりである。

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。



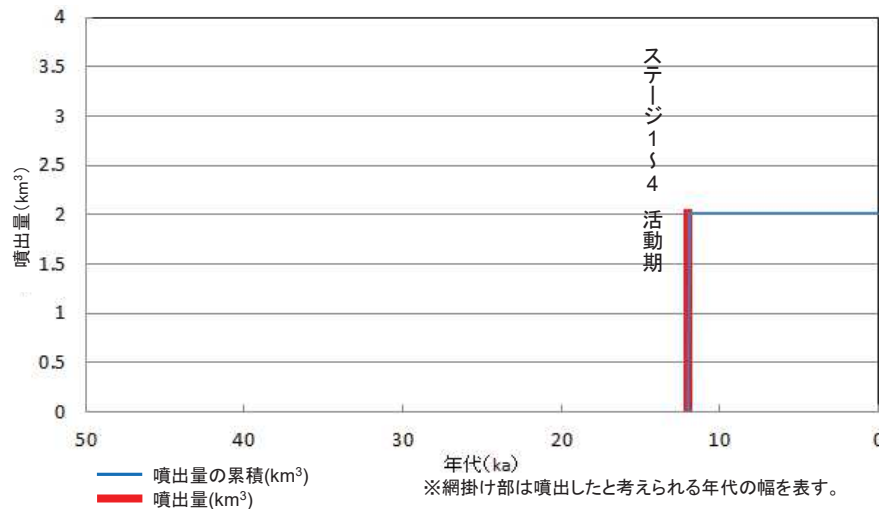
2. 抽出された火山の火山活動に関する個別評価 【肘折カルデラの活動履歴及び火砕物密度流に関する評価】

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(敷地からの方位角:約282°)
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12,000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。カルデラの東端と中央部に温泉があり、中央部の湖成層が著しい温泉変質を受けている。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(南方及び北方方向)に限られる。

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。

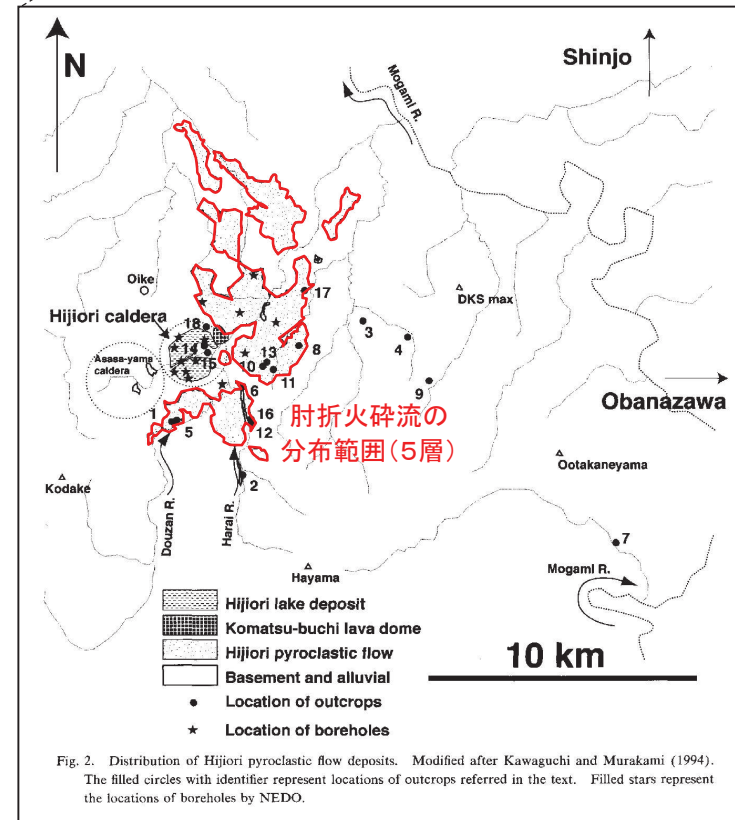
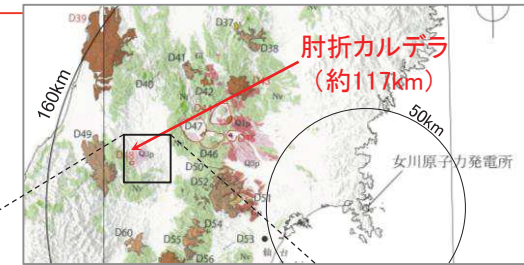


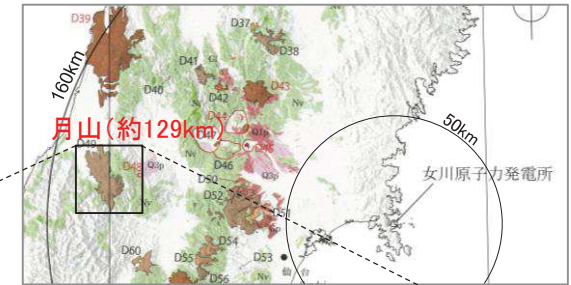
Fig. 2. Distribution of Hijiori pyroclastic flow deposits. Modified after Kawaguchi and Murakami (1994). The filled circles with identifier represent locations of outcrops referred in the text. Filled stars represent the locations of boreholes by NEDO.

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

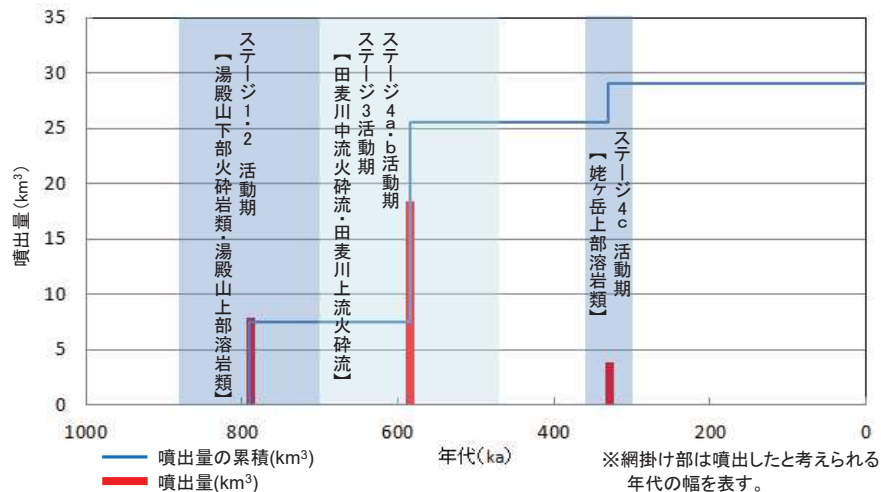
火山名	月山
敷地からの距離	約129km(敷地からの方位角:約278°)
形式/タイプ	複成火山/溶岩卓越タイプ
活動年代	約88万年前～30万年前
概要	月山(標高:1,984m)は、山形県のほぼ中央部に位置し、基盤の地形の影響と北西に開く馬蹄形カルデラのために東西非対称な山体を形成している。姥ヶ岳・湯殿山等からなる複成層火山である。安山岩～デイサイトからなる。
噴出物	<ul style="list-style-type: none"> ➢ 最大噴出量は約18km³、ステージ3～4b間(70万年前～47万年前)に噴出。 ➢ 最新の噴火活動は、姥ヶ岳溶岩類の活動期(36万年前～30万年前)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。



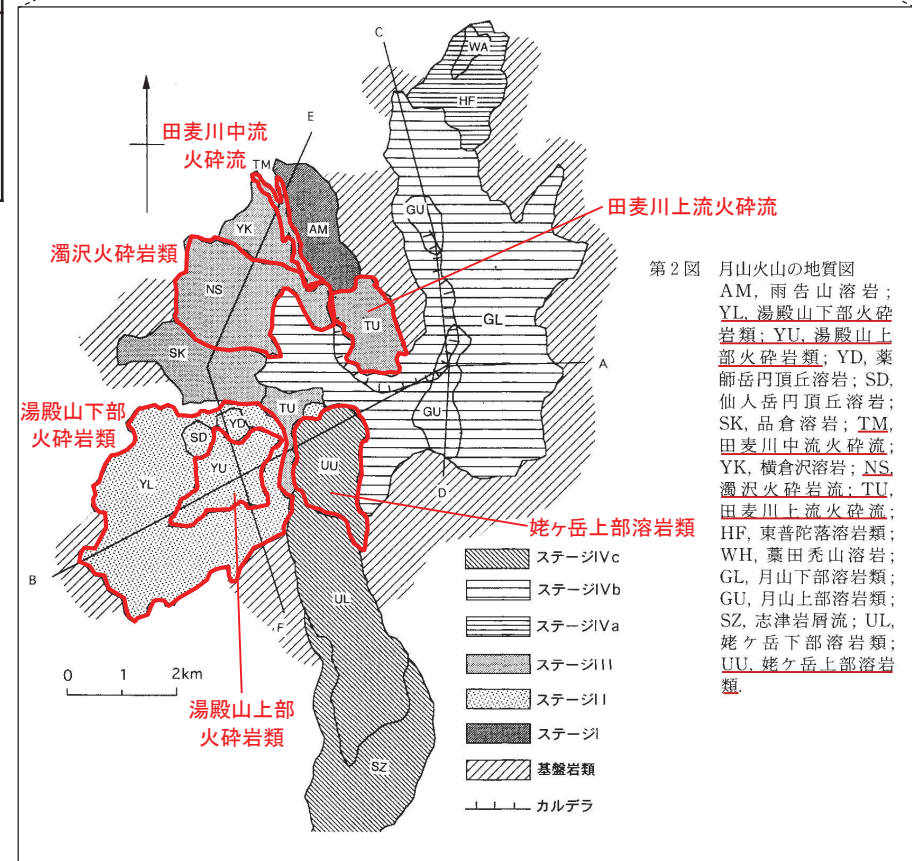
敷地を中心とする半径160kmの範囲の火山地質図
(中野ほか編(2013)による)

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



第2図 月山火山の地質図
AM, 雨宮山溶岩; 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; YK, 横倉沢溶岩; NS, 濁沢火砕岩流; TU, 田麦川上流火砕流; 姥ヶ岳上部溶岩類; HF, 東普陀落溶岩類; WH, 藁田禿山溶岩; 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

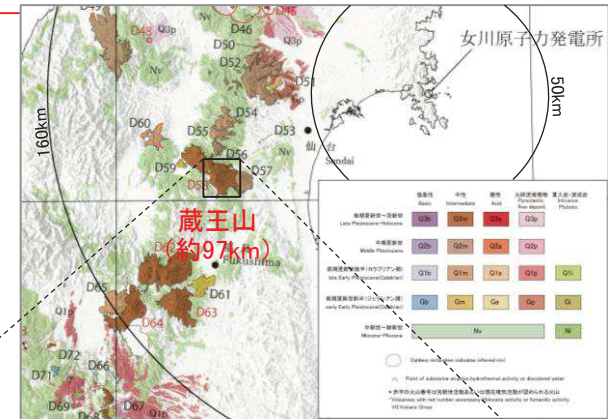
月山火山の地質図(中里ほか(1996)に一部加筆)

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。

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】

蔵王山の概要

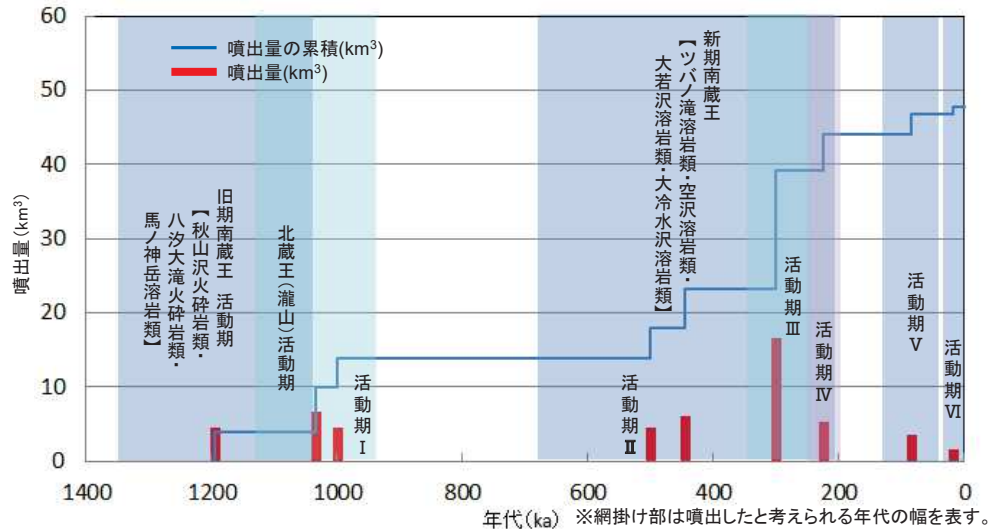
火山名	蔵王山
敷地からの距離	約97km(敷地からの方位角:約253°)
形式/タイプ	複成火山, 火口丘/溶岩・火砕岩タイプ
活動年代	約135万年前~AD1940年
概要	蔵王山(熊野岳:標高1,841m)は、山形県と宮城県の間境に位置する火山群の総称である。北蔵王(瀧山), 中央蔵王(熊野岳等), 南蔵王(不忘山等)等に分けられる。玄武岩~安山岩の成層火山で、有史以降も主に御釜を噴出口とする活動が確認されている。また、2013年以降、火山性微動が断続的に観測されている。
噴出物	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 最大噴出量は約15.95km³, 蔵王活動期Ⅲ(35万年前~25万年前)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。蔵王・北蔵王については確認されていない。



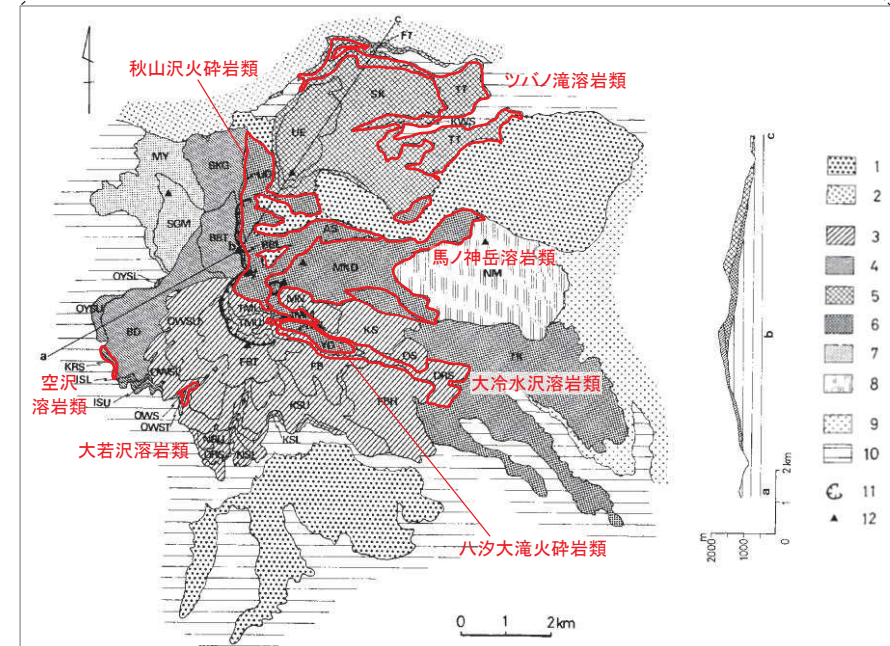
敷地を中心とする半径160kmの範囲の火山地質図
(中野ほか編(2013)による)

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。



蔵王山の噴出量一年代階段ダイヤグラム



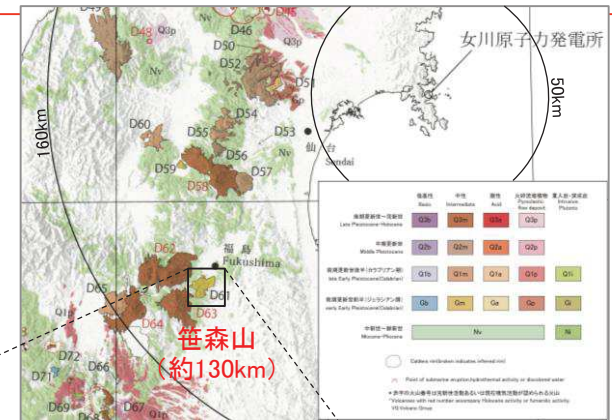
南蔵王地質図(酒寄(1985)に一部加筆)

概要の表及び噴出量一年代階段ダイヤグラムは、伴ほか(2015)及び酒寄(1985)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。噴出量一年代階段ダイヤグラムについては、山元(2014)との比較・検討を行い、概ね整合していることを確認した。

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

笹森山の概要

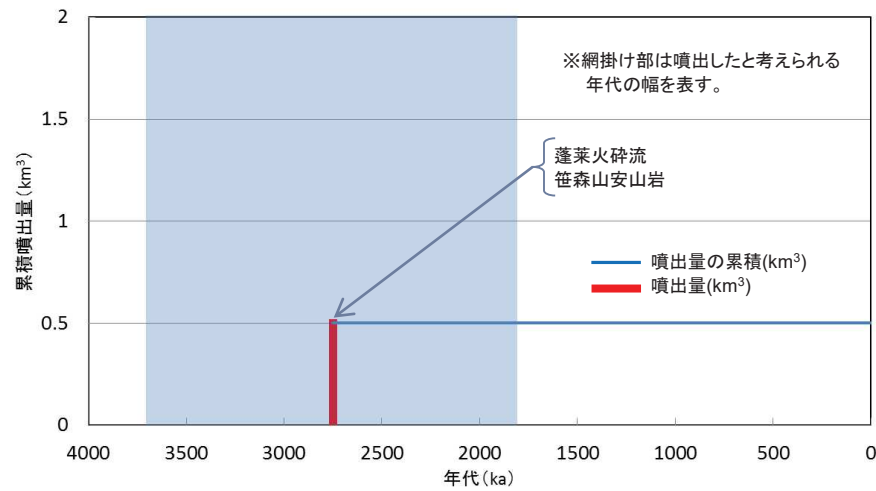
火山名	笹森山
敷地からの距離	約130km(敷地からの方位角:約231°)
形式/タイプ	複成火山?
活動年代	約370万年前～約180万年前
概要	笹森山火山(黒森山:標高760m)は、安山岩を主体とする著しく開析された火山体からなる。
噴出物	<ul style="list-style-type: none"> ➢ 最大噴出量は約0.5km³, 笹森山安山岩活動期(370万年前～200万年前)に噴出。 ➢ 最新の噴火活動は、非溶結の凝灰角礫岩～火山礫凝灰岩からなる蓬萊火砕流堆積物で190万年前～180万年前。 ➢ 火砕物密度流は、1層確認されており、分布範囲は山体周辺(北東山麓)に限られる。



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)

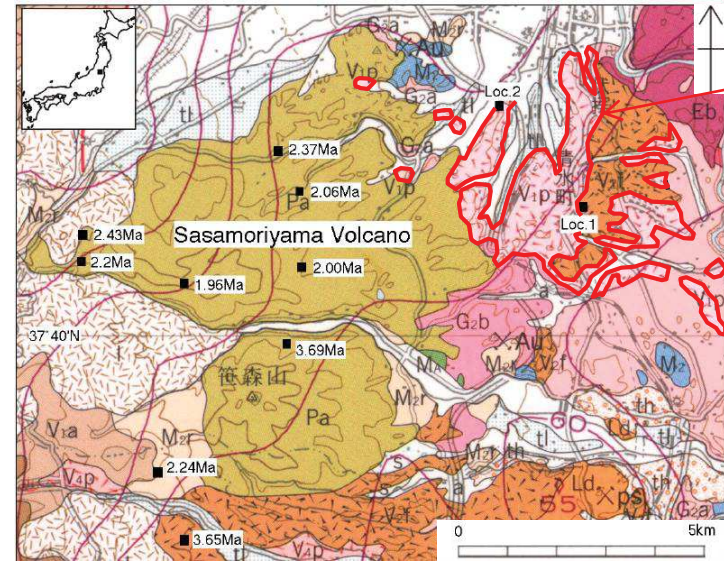
笹森山の火砕物密度流の評価

火砕物密度流は笹森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。



笹森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、中野ほか編(2013)及び山元(2015)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。



蓬萊火砕流
(清水町層; V1pの一部)

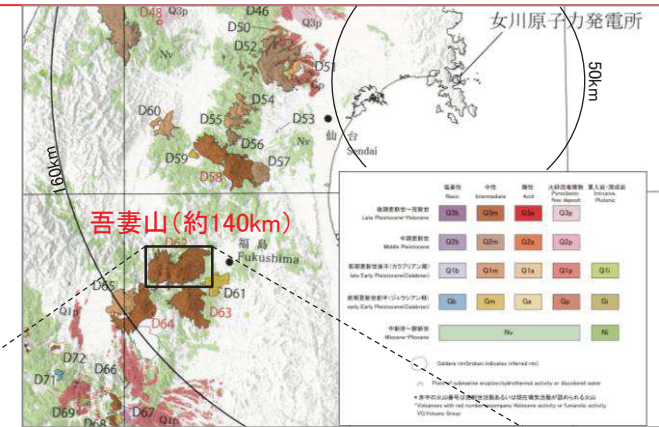
MA = 先白亜紀変成岩; U = 超塩基性岩; G2a + G2b + G2c = 白亜紀花崗岩類; Eb = 前期-中期中新世玄武岩質火山岩; M2 = 中期中新世堆積岩; M2r = 中期中新世流紋岩質火山岩; L1 = 後期中新世湖成堆積物; Pa + V1a = 笹森山火山岩; V1p = 蓬萊火砕流堆積物-清水町層; V2f = 伏拝岩層なだれ堆積物; V3f = 山崎岩層なだれ堆積物; th = 高位段丘堆積物; V4p = 安達太良湯川火砕流堆積物; tl = 低位段丘堆積物; l = 地すべり堆積物。20万分の1地質図幅「福島」(久保ほか, 2003)の一部を使用した。K-Ar年代値は、長橋ほか(2004)による。

笹森山周辺の地質図(山元(2015)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 【吾妻山の活動履歴及び火砕物密度流に関する評価】

吾妻山の概要

火山名	吾妻山
敷地からの距離	約140km(敷地からの方位角:約239°)
形式/タイプ	複成火山、火砕丘/溶岩卓越タイプ
活動年代	約118万年前～AD1977年
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。北列の多くの火山は山頂火口をもち、東部の一切経山付近には、五色沼、大穴、桶沼、吾妻小富士等、多くの新しい火砕丘や火口が形成されている。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、高倉山火山・中大巔・東大巔火山活動期(80万年前～53万年前)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3層報告されており、分布範囲は山体周辺に限られる。



2. 抽出された火山の火山活動に関する個別評価

コメントS202

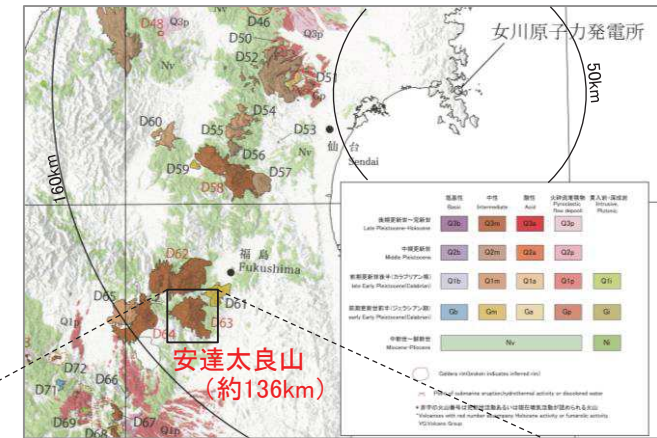
第446回審査会合 (H29.2.24)
資料1-1 p36 一部修正

38

【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

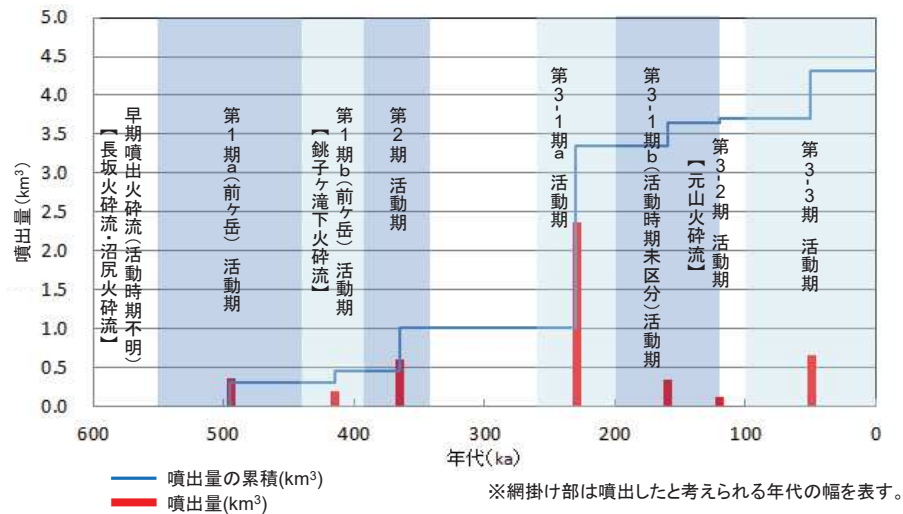
火山名	安達太良山
敷地からの距離	約136km(敷地からの方位角:約232°)
形式/タイプ	複成火山/溶岩卓越タイプ
活動年代	約55万年前~AD1900年
概要	安達太良山は、福島市の南西に位置する玄武岩~安山岩の成層火山群である。主峰の安達太良本峰の山頂部には西に開く沼ノ平火口がある。この火口の内外には、噴気・温泉地帯が存在する。
噴出物	<ul style="list-style-type: none"> ➤ 最大噴出量は約2.33km³、第3-1a期(26万年前~20万年前)に噴出。 ➤ 最新の噴火活動は、低温サージや降下火砕物を伴った中規模水蒸気噴火で1900年に発生。 ➤ 火砕物密度流は、4層確認されており、分布範囲は山体周辺に限られる。



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)

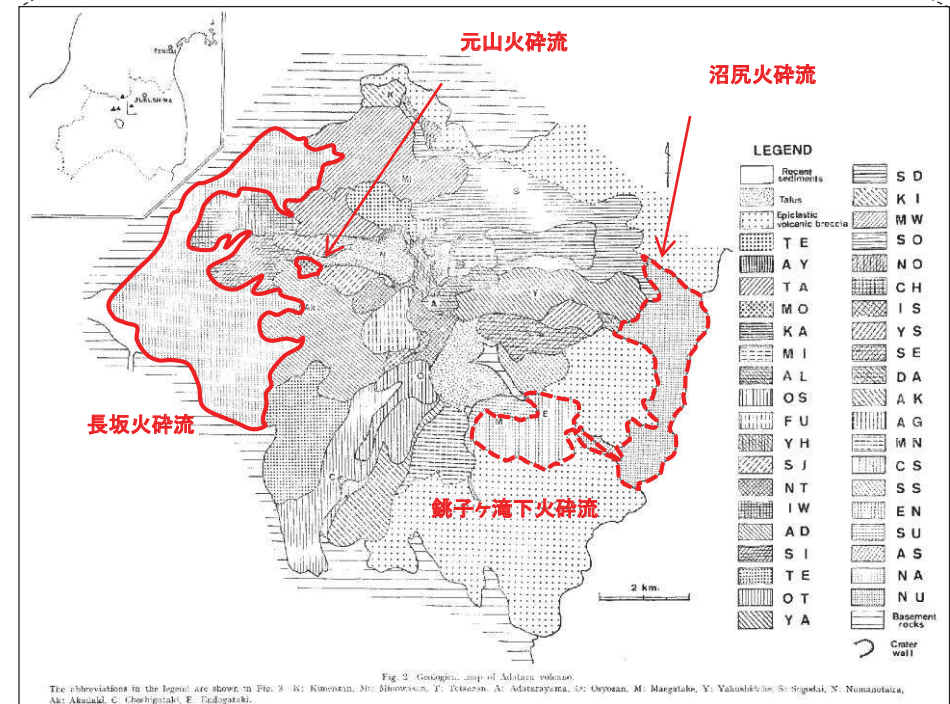
安達太良山の火砕物密度流の評価

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-年代階段ダイヤグラム

- ✓ 噴出量-年代階段ダイヤグラムについては、山元(2014)との比較・検討を行い、概ね整合していることを確認した。
- ✓ 概要の表及び噴出量-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。
- ✓ 中野ほか編(2013)のWEB版(2019.3.19更新)によれば、安達太良山から西鴉川を分離したことが記載されているが、2013年の発行以降に新たな文献等が追加されたものではないため、西鴉川を安達太良山に含めた形で整理し、第四紀火山には含めないこととする。なお、念のため、西鴉川の活動性について検討を行い、「原子力発電所に影響を及ぼし得る火山」に該当しないことを確認した(補足説明資料p129参照)。



安達太良火山地質図(藤縄(1980)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【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)に約60km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)に約60km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。				
笹森山	130	○	火砕物密度流は笹森山周辺に限られる。				
吾妻山	140	○	火砕物密度流は吾妻山周辺に限られる。				
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 鳴子荷坂の詳細検討
 - 3. 1. 5 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。

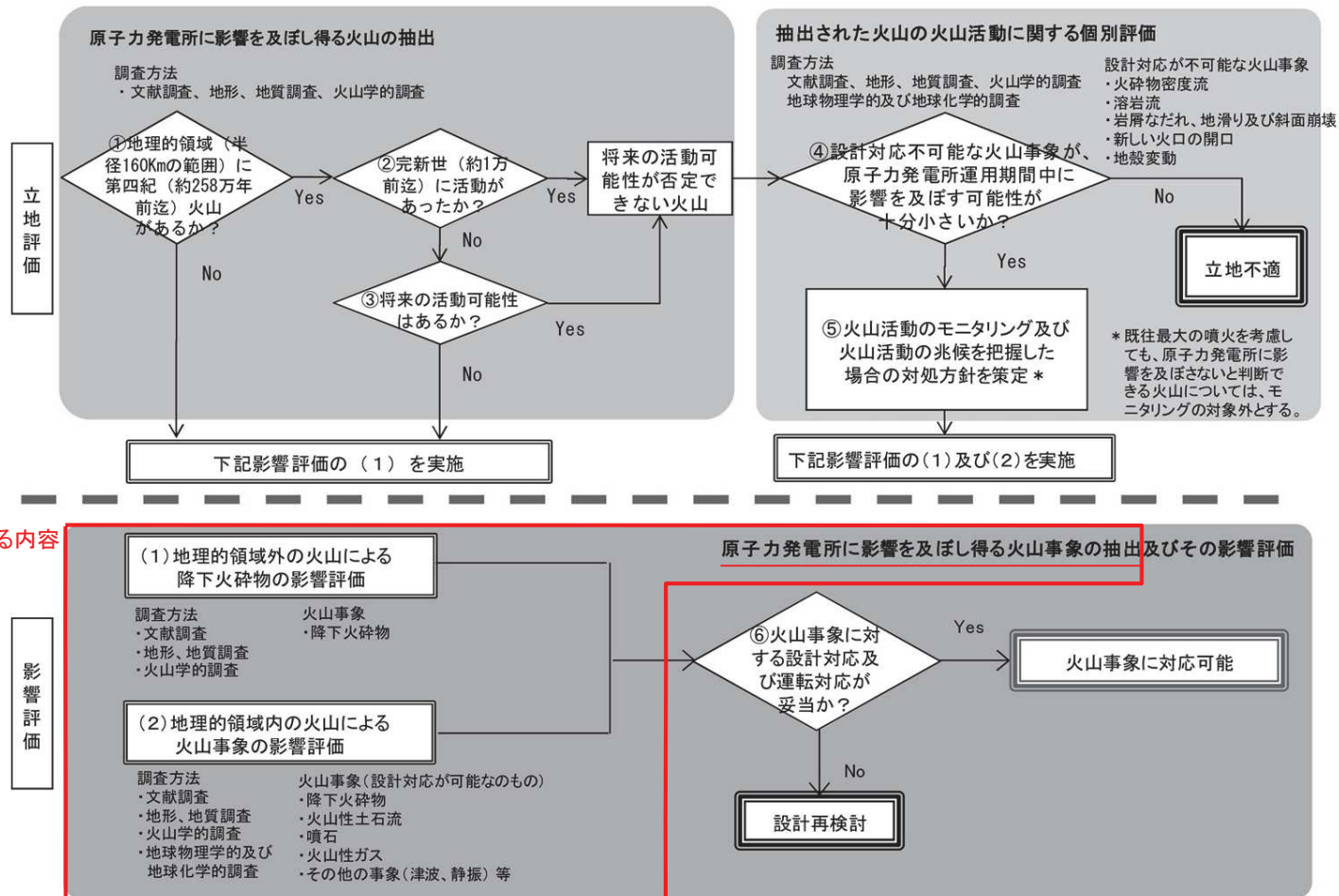


図1 原子力発電所に影響を及ぼす火山影響評価の基本フロー

「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

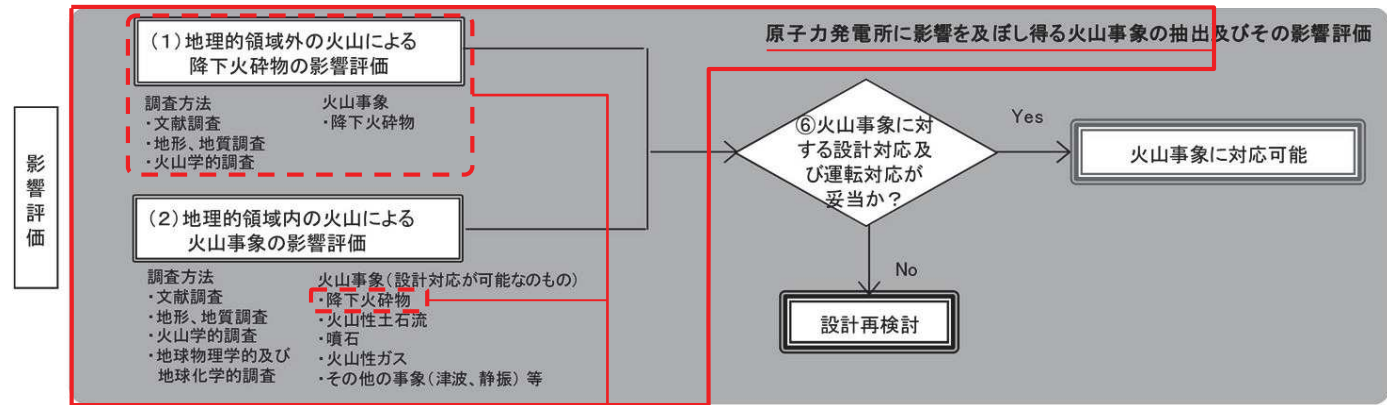


図1 原子力発電所に影響を及ぼす火山影響評価の基本フロー

- 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、サージ及びプラスト	動的な物理的負荷、大気の過圧、飛来物の衝撃、300℃超の温度、研磨性粒子、毒性ガス	160km
3. 溶岩流	動的な物理的負荷、洪水及び水のせき止め、700℃超の温度	50km
4. 岩層なだれ、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	継続的の微動、多重衝撃	注4
13. 熱水系及び地下水の異常	熱水、腐食性の水、水の汚染、氾濫又は湧昇、熱水変質、地滑り、カルスト及びサーモカルストの変異、水圧の急変	注4

(参考資料：IAEA SSG 21 及び JEAG4625)

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

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

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

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

3. 原子力発電所に影響を及ぼし得る火山事象の抽出

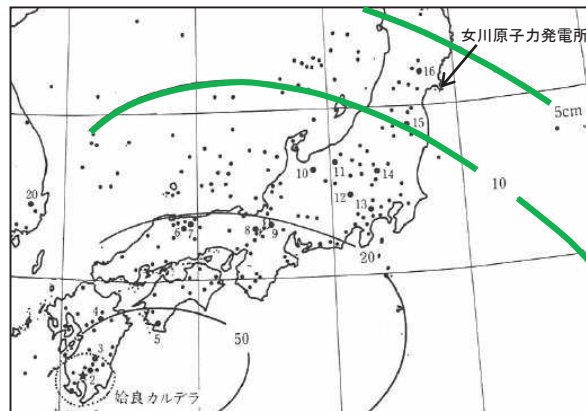
3.1 降下火砕物の影響評価

3.1.1 文献調査【広域①】

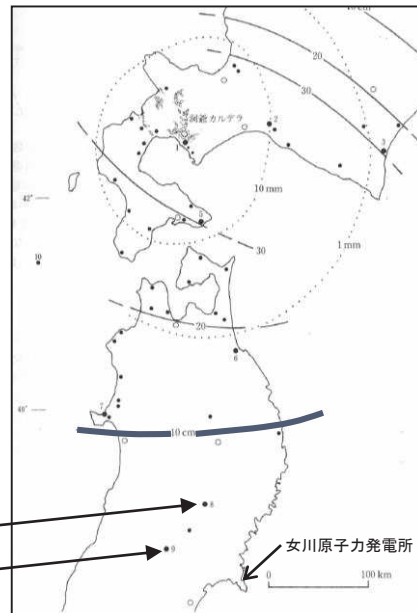
【文献調査結果(広域)】

➢ 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。

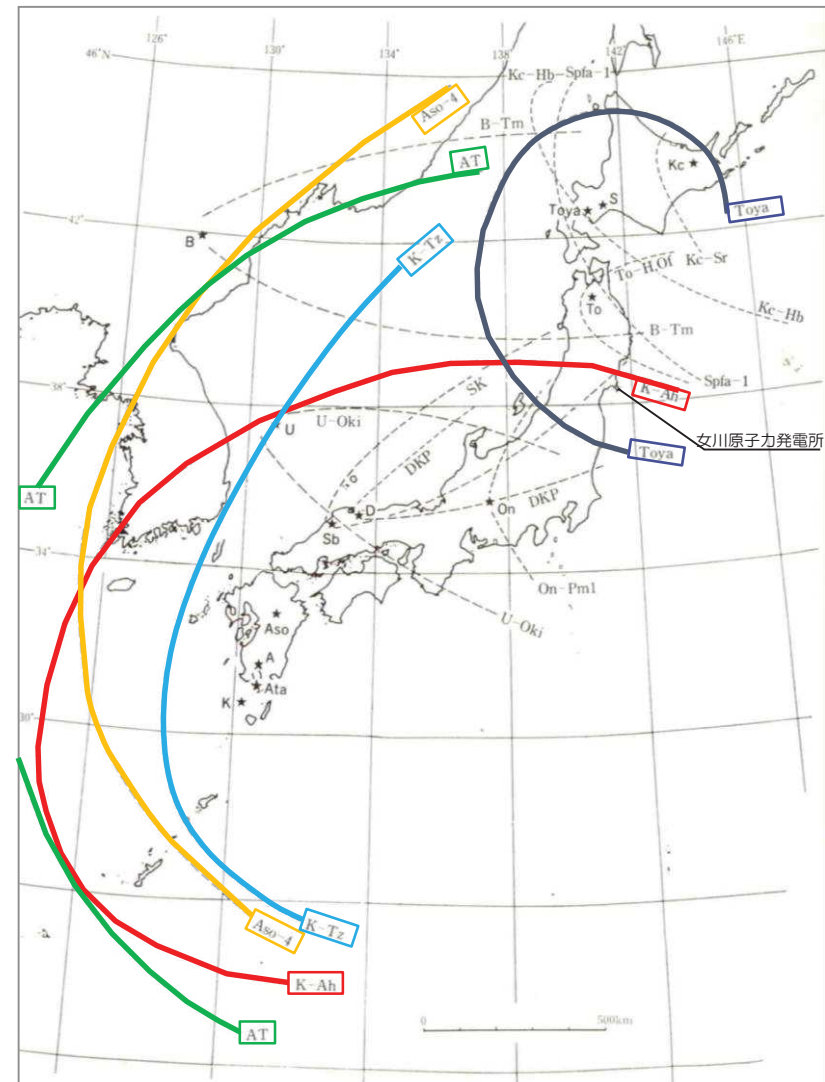
テフラ名	女川地点の評価	
K-Ah	鬼界アカホヤテフラ	町田・新井(2011)によると、ほぼ0cm
K-Tz	鬼界葛原テフラ	町田・新井(2011)によると、2cm以下
AT	始良Tnテフラ	町田・新井(2011)によると、5~10cm
Toya	洞爺テフラ	町田・新井(2011)によると、10cm以下
Aso-4	阿蘇4テフラ	町田ほか(1985)によると、数cm



始良Tn火山灰(AT)の等層厚線図(町田・新井(2011)に一部加筆)



洞爺火山灰(Toya)の等層厚線図
(町田・新井(2011)に一部加筆)

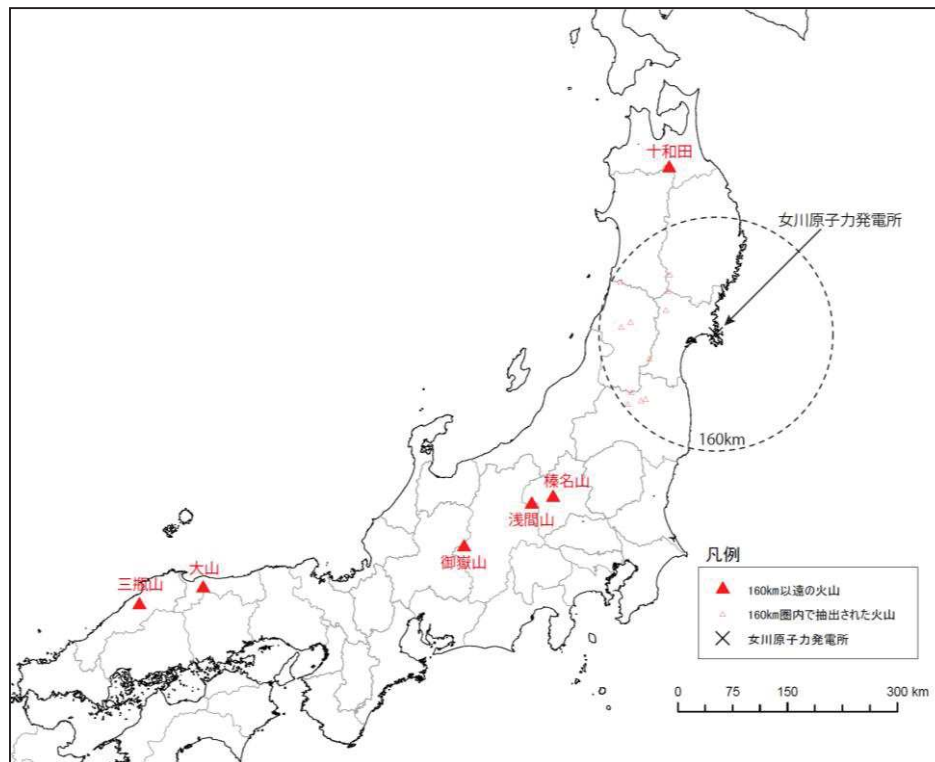


広域テフラ分布(町田・新井(2011)に一部加筆)

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
 3.1.1 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	十和田中掬	町田・新井(2011)によると、0～数cm。
榛名山	Hr-FP	榛名二ツ岳伊香保	町田・新井(2011)によると、0～数cm。
浅間山	As-A	浅間 A(天明)	町田・新井(2011)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	
	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(2011)によると、0～数cm。
大山	DKP	大山倉吉	町田・新井(2011)によると、ほぼ0cm。
三瓶山	SK	三瓶木次	町田・新井(2011)によると、ほぼ0cm。

※ 評価の詳細は、補足説明資料(p37-47)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), 榛名ニツ岳伊香保(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。



第2図 石巻平野の地形と調査地点。基図は国土地理院発行2万5千分の1地形図「蔵波」「石巻」「小野」を使用。
Fig. 2. Geomorphology and coring survey sites in the Ishinomaki Plain. Base maps are topographic map of 1:25,000 "Waranoha", "Ishinomaki", "Hirobuchi" and "Ono", published by Geographical Survey Institute.

石巻平野での津波堆積物調査(穴倉ほか(2007))

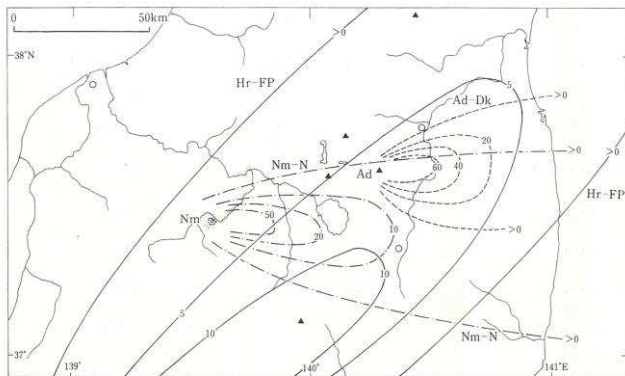


図3.4-1 東北地方南部の主要テフラの等層厚線図。
Hr-FP 榛名ニツ岳伊香保¹⁾ Nm-N 沼沢湖 (pHの分布も示す)¹⁾⁻²⁾ Ad-Dk 安達太良岳³⁾
Nm 沼沢湖, Ad:安達太良。
[1) Arai et al. (1986), 2) 只見川第四紀研究グループ (1966a), 3) 山元・飯口 (2000)]

東北地方南部の主要テフラの等層厚線図(町田・新井(2011))

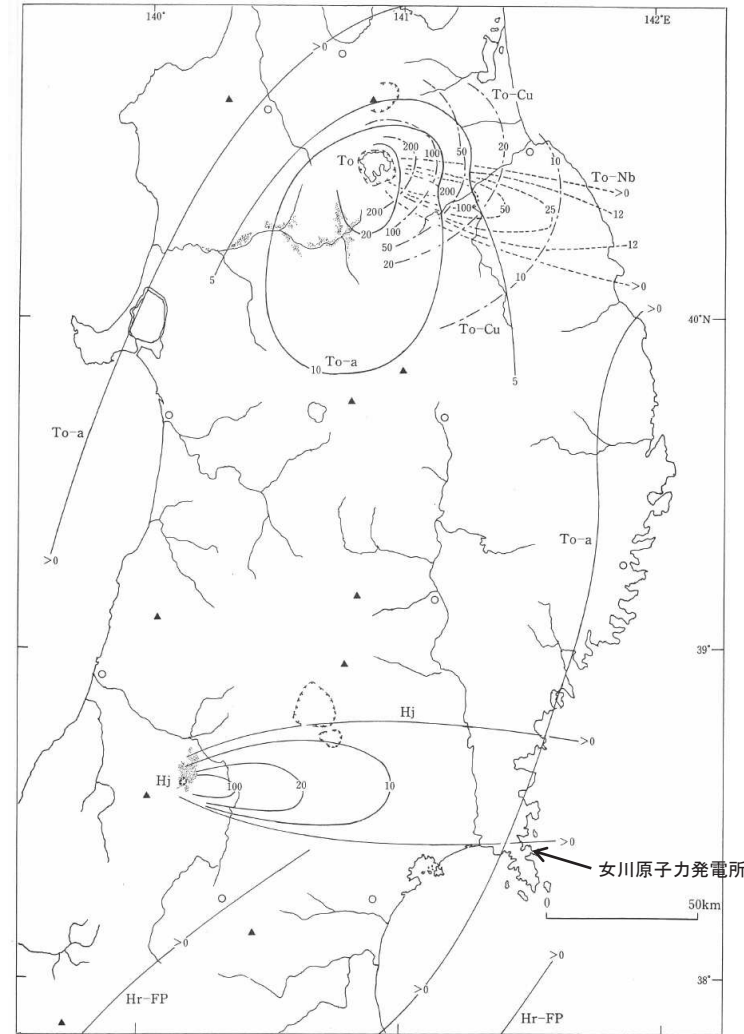


図3.4-2 東北地方の完新世主要テフラの等層厚線図。
To-a 十和田a (pHの分布も示す)¹⁾を修正 Hr-FP 榛名ニツ岳伊香保²⁾ To-Cu 十和田中嶺³⁾
To-Nb 十和田南部³⁾ Hj 肘折尾花沢 (pHの分布も示す) To:十和田, Hj:肘折。
[1) 町田ほか (1981a), 2) Arai et al. (1986), 3) Hayakawa (1985)]

東北地方の完新世主要テフラの等層厚線図
(町田・新井(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

3.1.1 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。

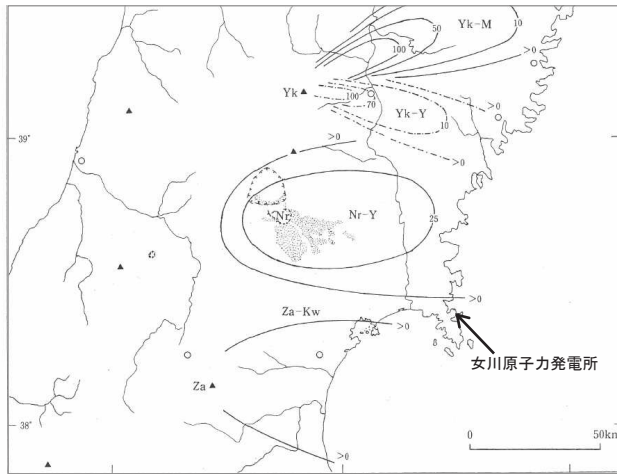


図 3.4-3 東北地方の後期更新世主要テフラの等層厚線図(その1).
Ak-Y 秋田駒柳沢^{1,7)} Ak-K 秋田駒小岩井¹⁾ Za-Kw 蔵王川崎²⁾ Yk-Y 焼石山形³⁾
Yk-M 焼石村崎野³⁾ Nr-Y 鳴子柳沢⁴⁾ (pfiの分布も示す) To-G 十和田合同^{5,6)} To-Rd 十和田レッド^{5,6)}
To: 十和田, Iw: 岩手, Ak: 秋田駒, Yk: 焼石, Nr: 鳴子, Za: 蔵王.
[1) 大上・土井 (1978), 2) Arai et al. (1986), 3) 大上・吉田 (1984), 4) 早田 (1989b), 5) 大池・中川 (1979), 6) 松山・大池 (1986), 7) 土井 (1990).]

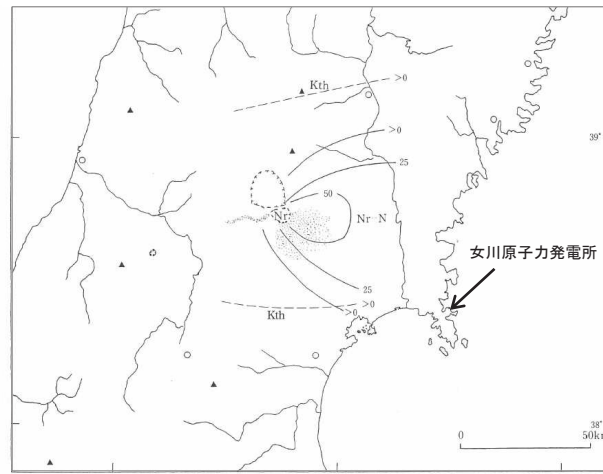


図 3.4-4 東北地方の後期更新世主要テフラの等層厚線図(その2).
To-SP 十和田SP^{1,2)} To-Ok: 十和田オコンシ^{2,3)} To-QP 十和田QP^{1,2)} Kw 十和田川口^{3,4)}
Iw-Od 西岩手生出⁵⁾ Iw-Y 西岩手雪浦⁵⁾ Nr-N 鳴子荷坂 (pfiの分布も示す)⁴⁾ Kth 北原⁶⁾
To: 十和田, Iw: 岩手, Nr: 鳴子.
[1) 大池・中川 (1979), 2) 松山・大池 (1986), 3) 大上・土井 (1978), 4) 早田 (1989b), 5) 土井 (1990), 6) 土井 (1991).]

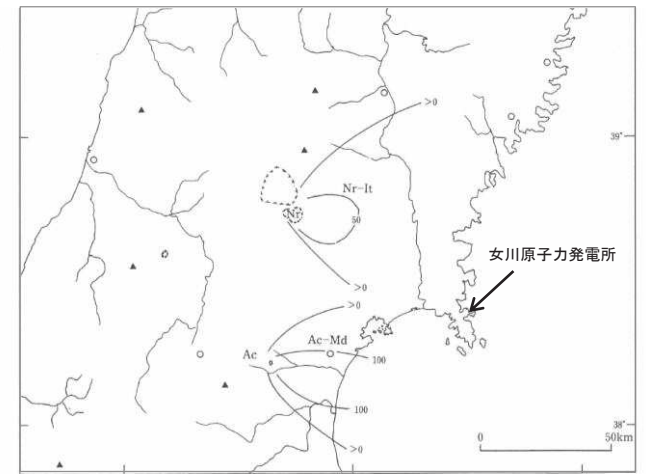


図 3.4-5 東北地方の後期更新世主要テフラの等層厚線図(その3).
To-AP 十和田アオスジ^{1,2)} To-CP 十和田カステラ^{1,2)} ZP2 ザラメ^{2,3)} Nr-It 鳴子一迫³⁾
Ac-Md 安達愛島³⁾ To: 十和田, Nr: 鳴子, Ac: 安達.
[1) 大池・中川 (1979), 2) 松山・大池 (1986), 3) 早田 (1989b).]

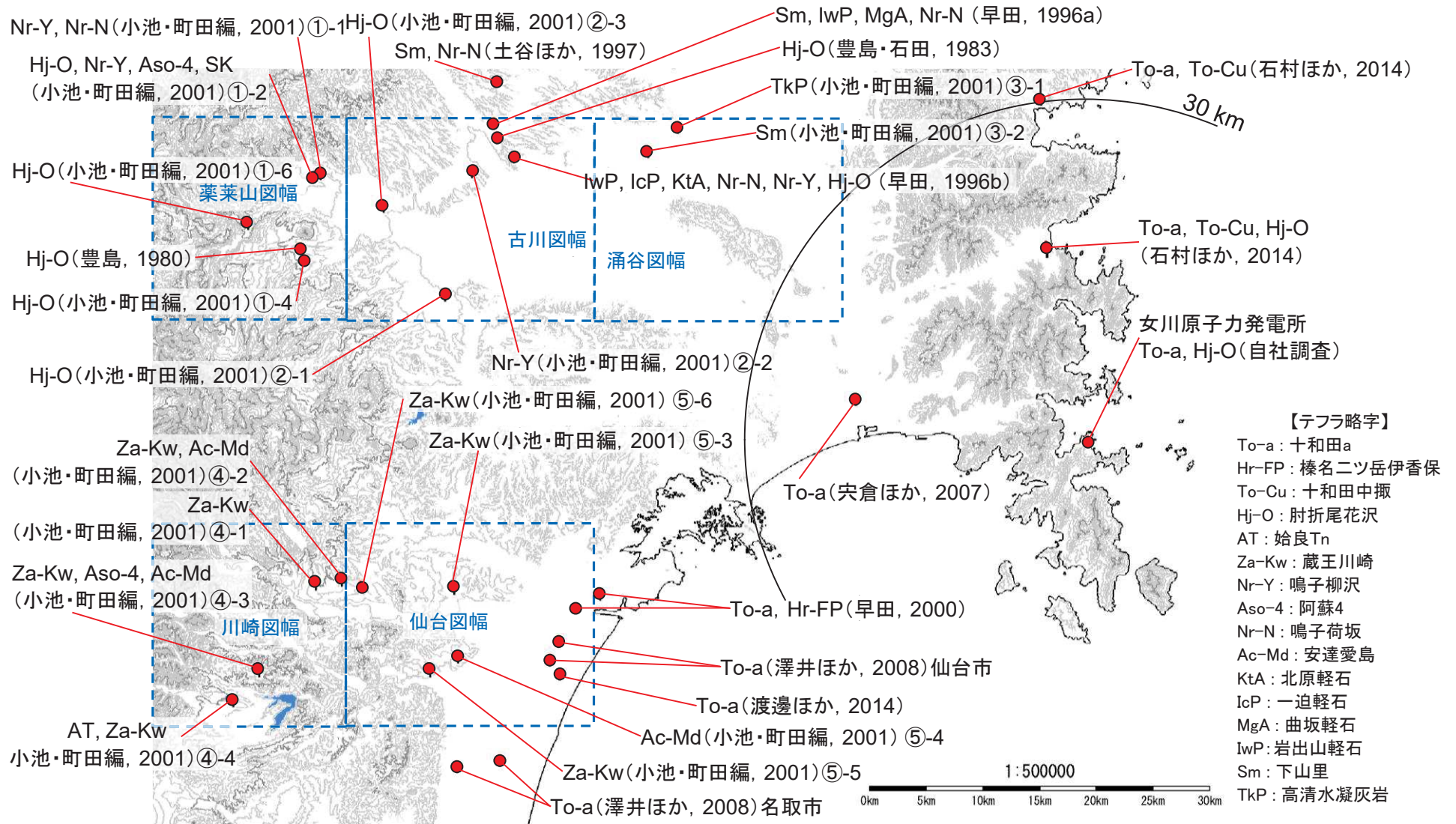
東北地方の後期更新世主要テフラの等層厚線図(町田・新井(2011)に一部加筆)

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

3.1.1 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(p48-55)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)、榛名二ツ岳伊香保(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

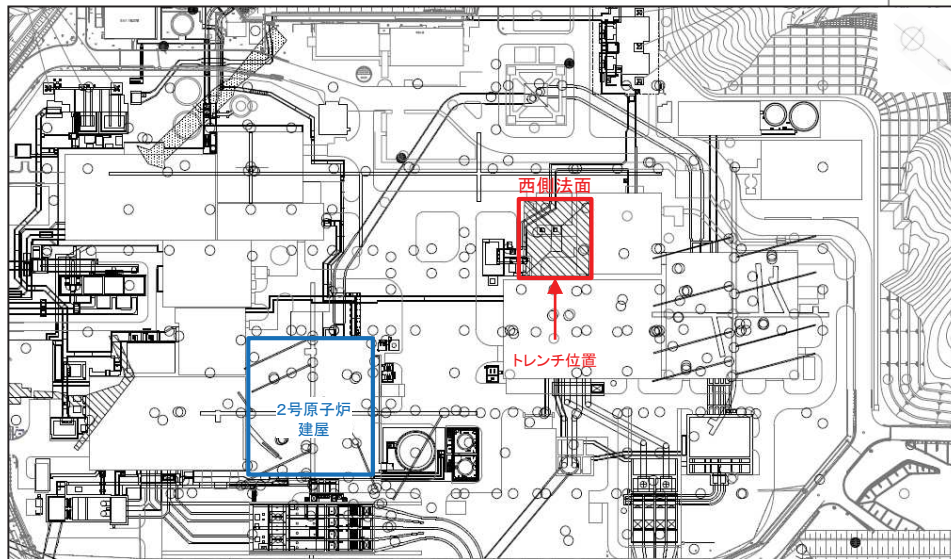
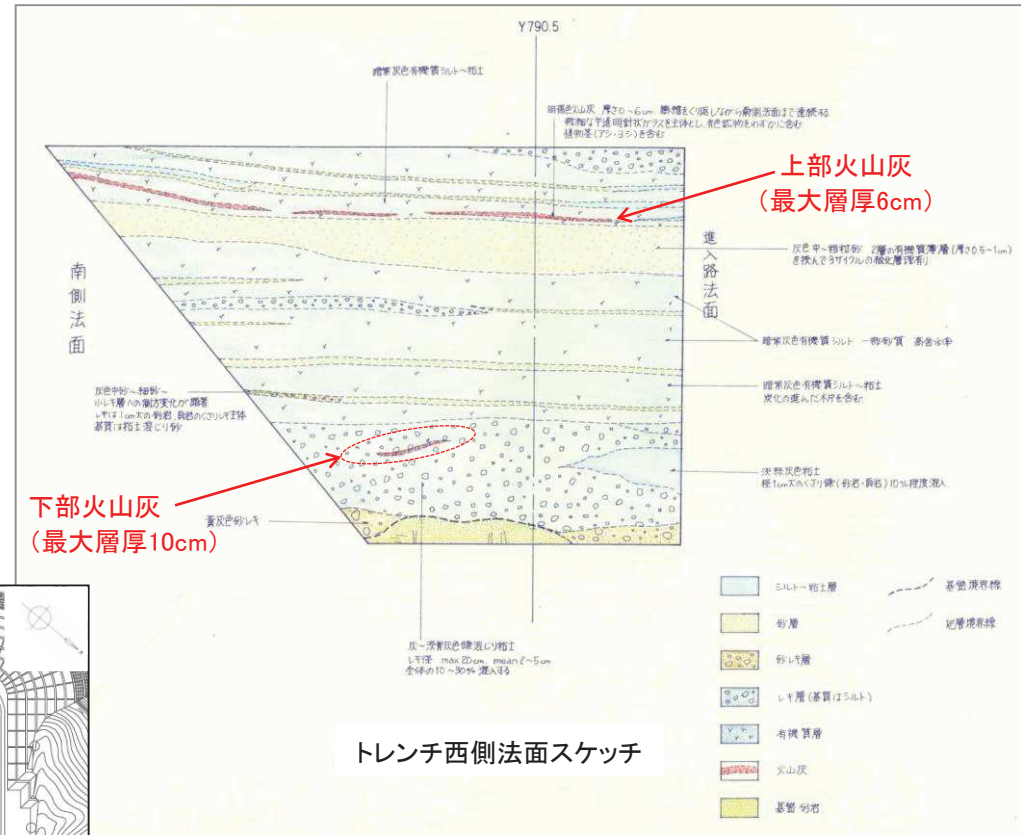
3.1.2 地質調査

【敷地周辺の地質調査結果】

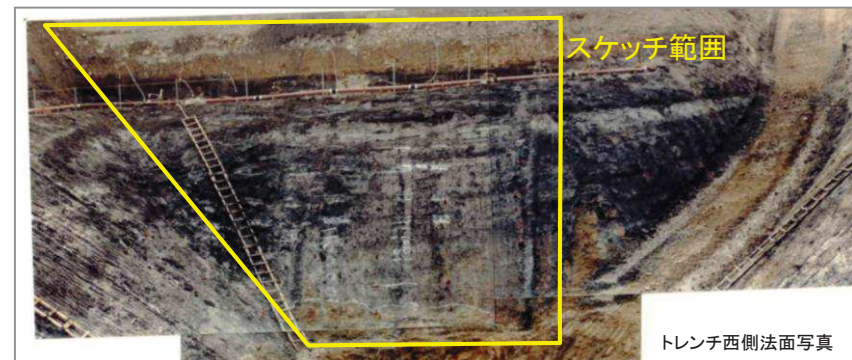
- 敷地周辺において実施した地質調査の結果から、明瞭な降下火砕物は確認されていない。

【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。
- 下部で局部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(Hj-O)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、央倉ほか(2007)の結果を踏まえれば、十和田aである可能性は高い。



トレンチ調査位置図



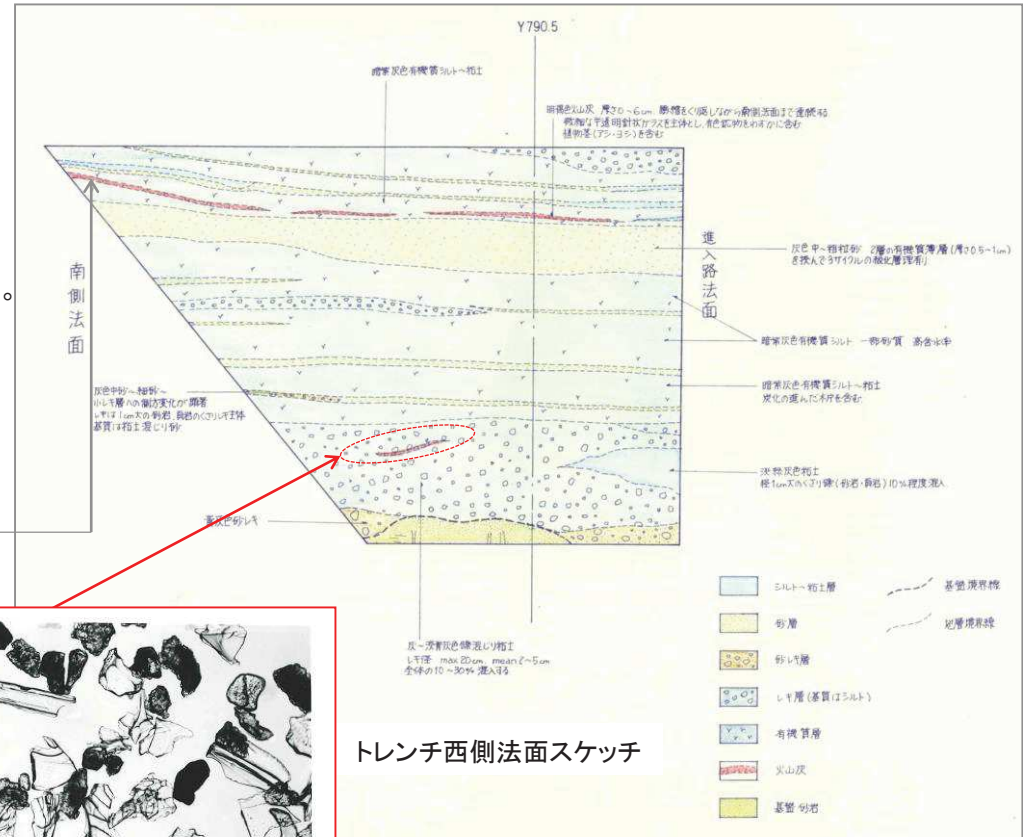
3. 原子力発電所に影響を及ぼし得る火山事象の抽出
 3.1 降下火砕物の影響評価
 3.1.2 地質調査【顕微鏡観察結果等】

【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、下部火山灰は肘折尾花沢(Hj-O)に酷似し、上部火山灰は十和田a(To-a)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。
- 上部火山灰と下部火山灰の分析結果は、補足説明資料(p49)に示す。
- なお、粒径は顕微鏡写真から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

3.1.3 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】

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。

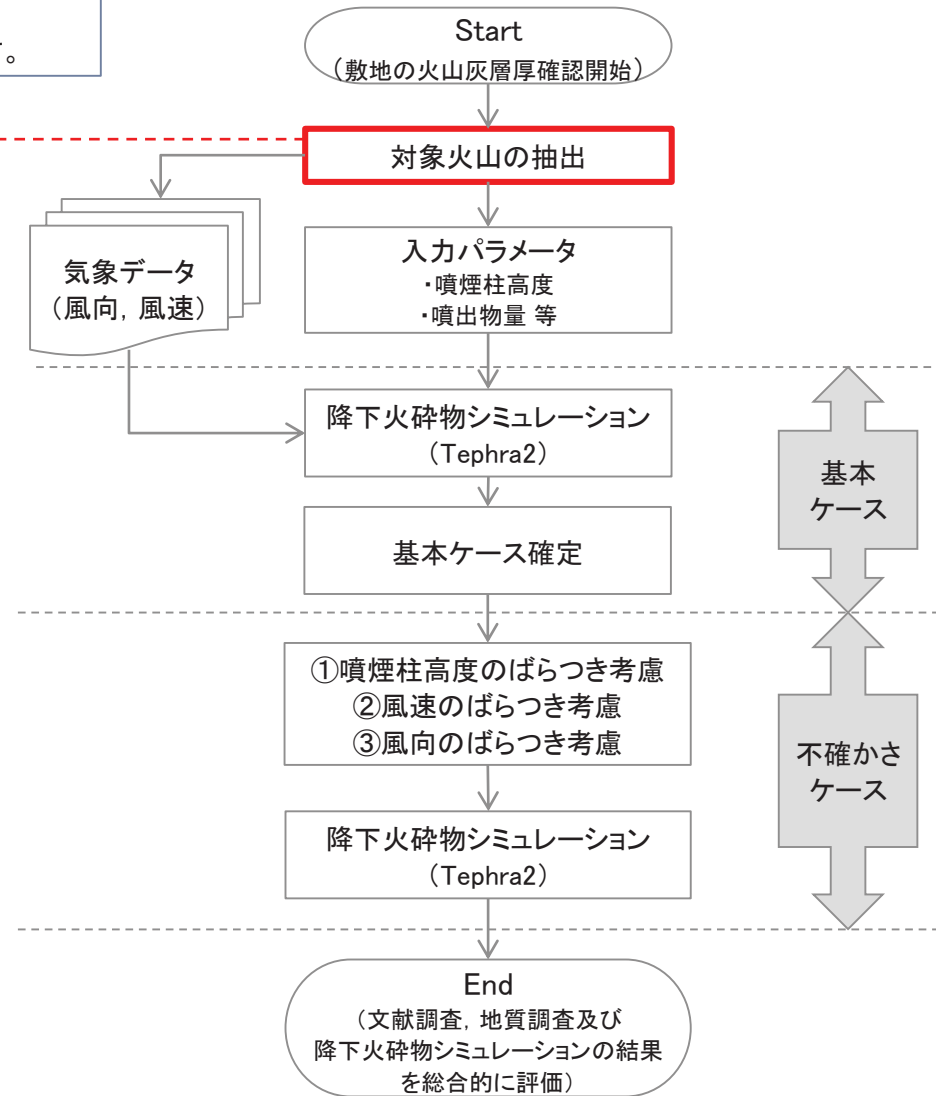
【選定項目1】

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11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

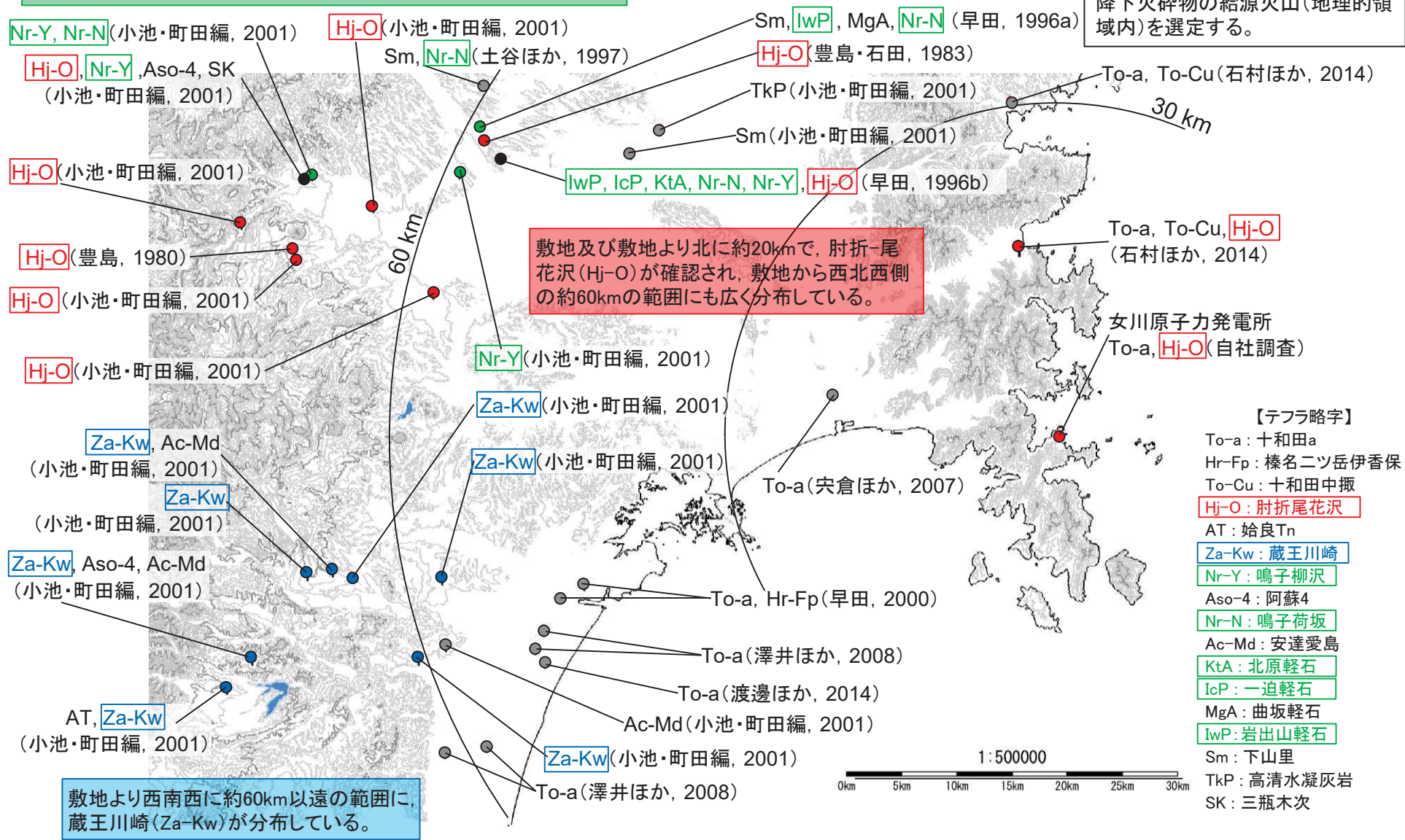
3.1.3 シミュレーション【対象火山の抽出①-1】

【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。

敷地及び敷地より北に約20kmで、肘折-尾花沢(Hj-O)が確認され、敷地から西北西側の約60kmの範囲にも広く分布している。

敷地より西南西に約60km以遠の範囲に、蔵王川崎(Za-Kw)が分布している。

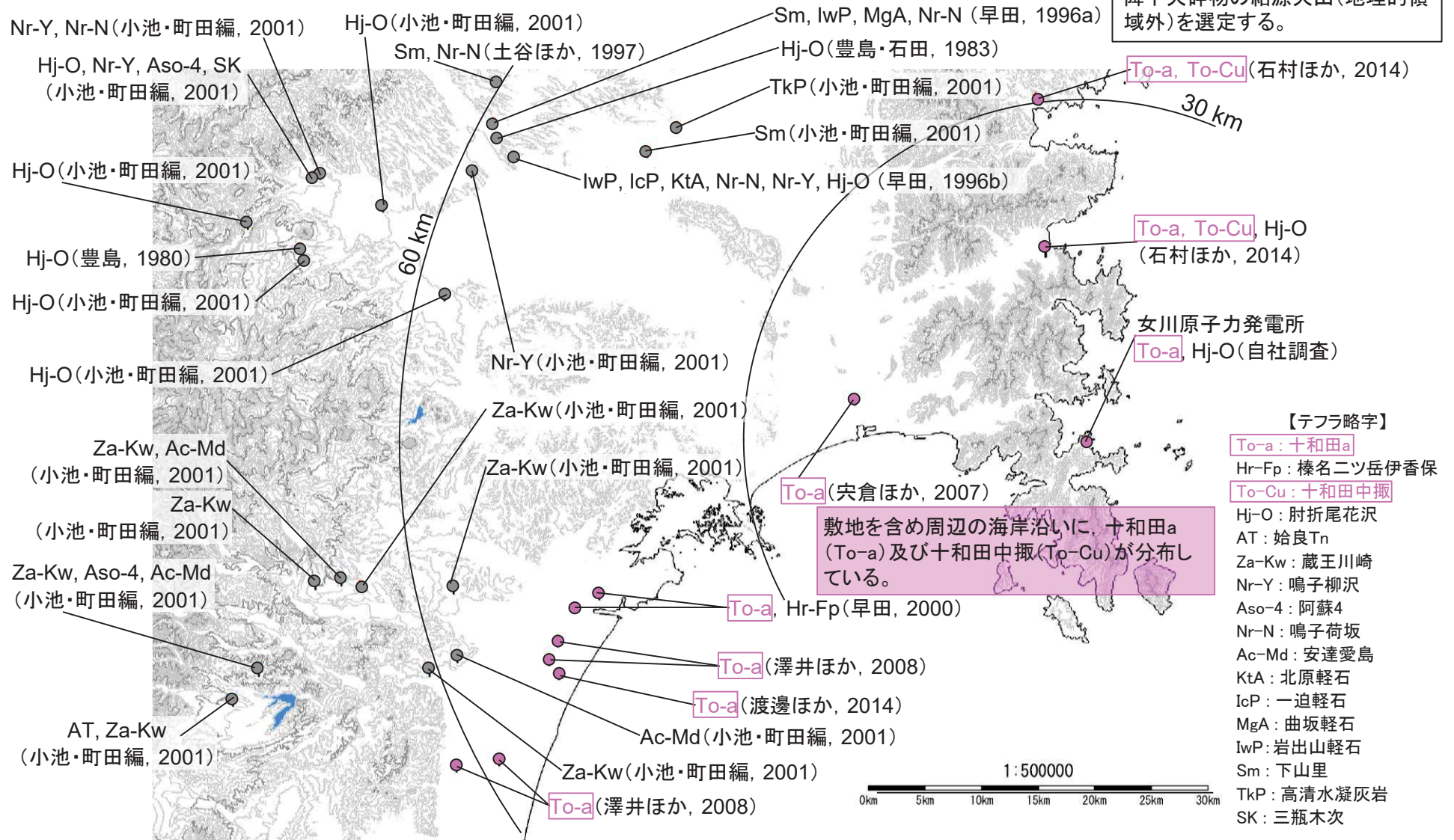


3. 原子力発電所に影響を及ぼし得る火山事象の抽出

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11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、磐梯山及び十和田が選定される。

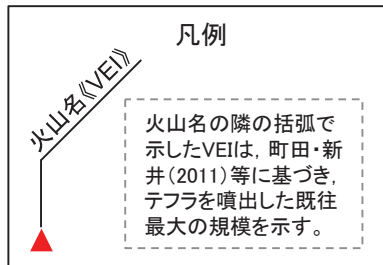
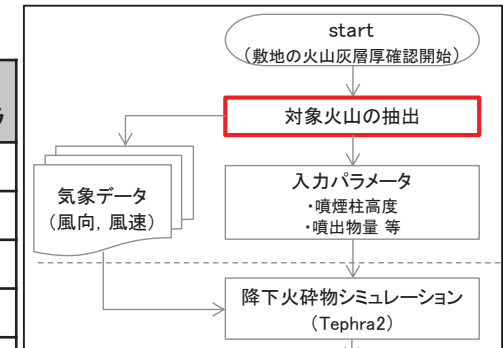


表 各火山の火山タイプ

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	—
笹森山	130	溶岩卓越	—
安達太良山	136	溶岩卓越	—
吾妻山	140	溶岩卓越	—
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



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)

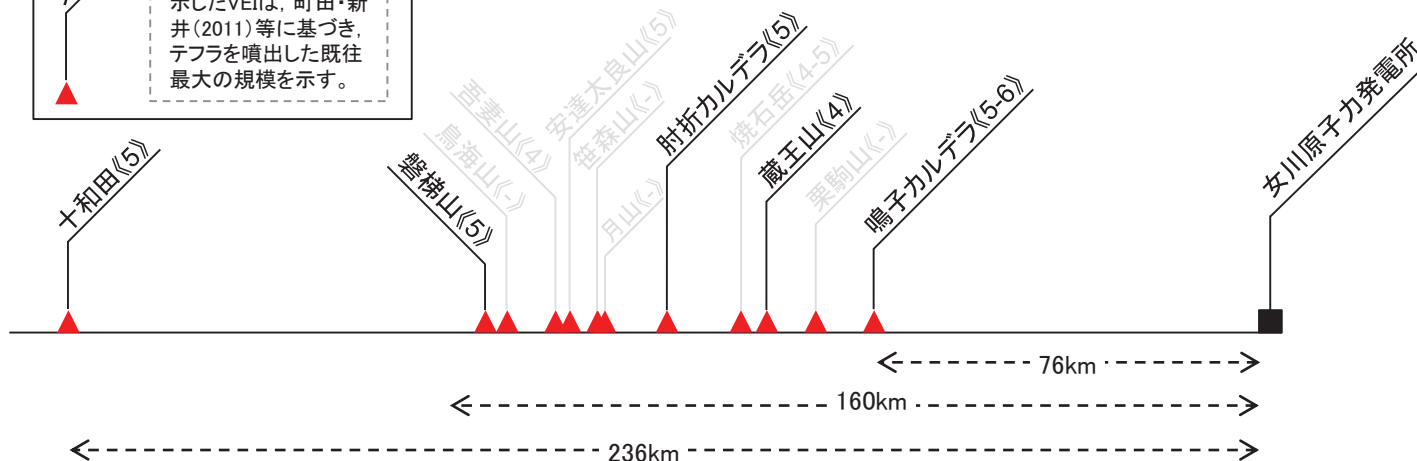
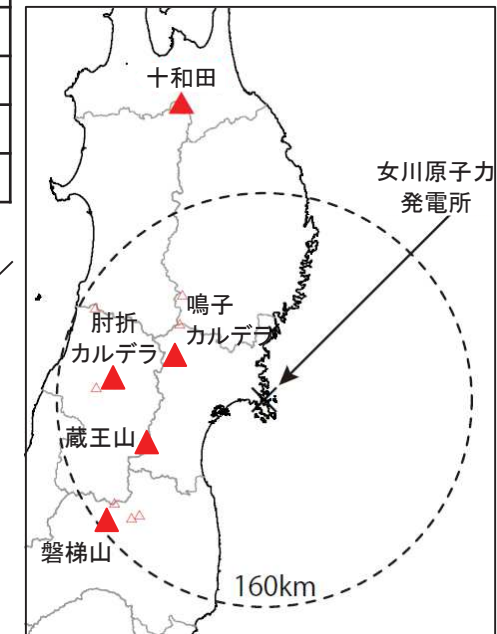


図 各火山と敷地との距離

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【対象火山の抽出③】

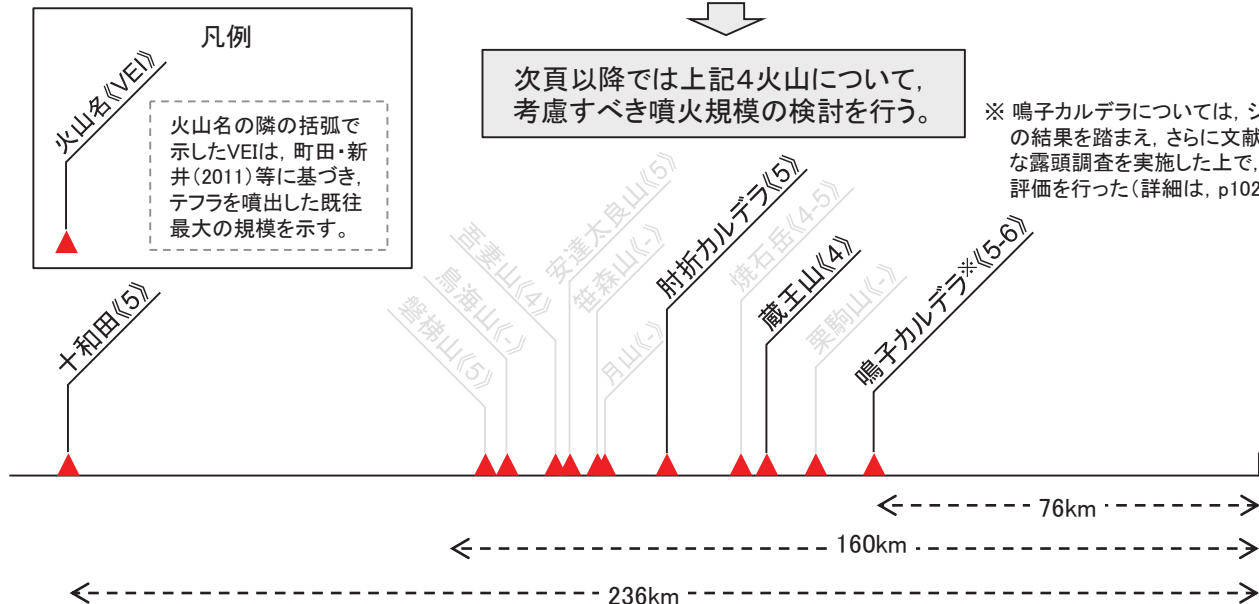
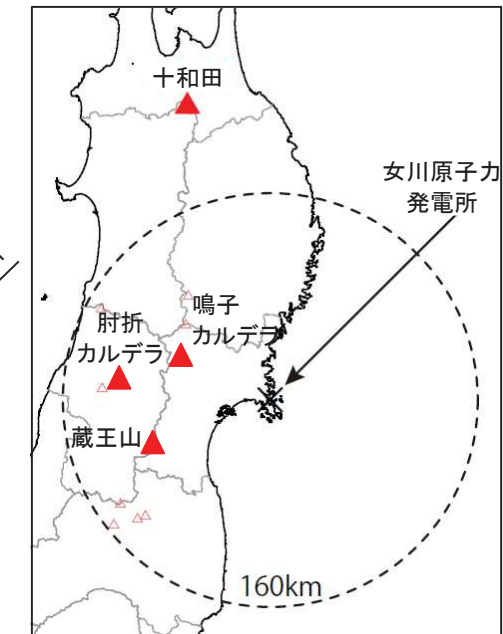
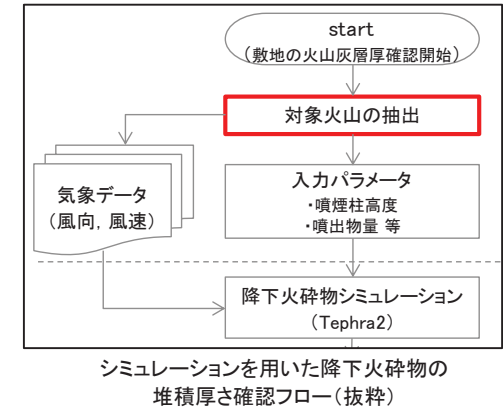
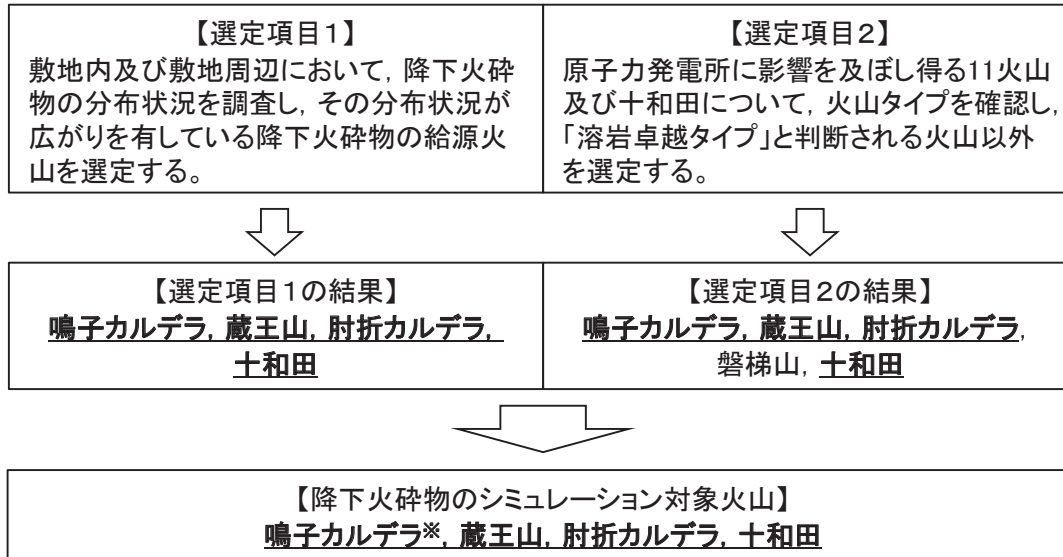


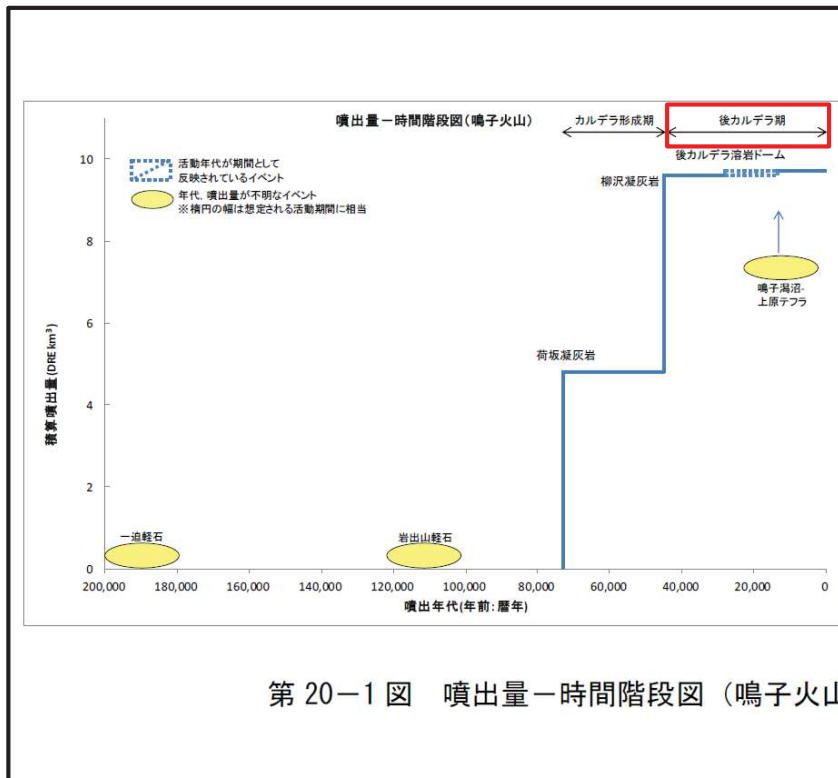
図 各火山と敷地との距離

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 【噴火規模の検討：鳴子カルデラの活動履歴・噴火ステージ】

- 伊藤ほか(1997)及び気象庁編(2013)には、「溶岩ドームには直径100～400m程度の火口地形が多数認められ、後カルデラ期には溶岩ドーム群の形成とそれを一部破壊するような爆発的な活動が発生していたと考えられる。」と記載されている。
- 山元(2014)では、「噴出量－時間階段図」及び「活動履歴帳票」で鳴子カルデラの現在の噴火ステージを「後カルデラ期」としている。
- なお、「後カルデラ期」における最大は鳴子湯沼上原(Nr-KU)を噴出した噴火であり、全活動期間では鳴子荷坂(Nr-N)を噴出した噴火が最大であると考えられる。



第 20-1 図 噴出量－時間階段図 (鳴子火山)

山元(2014)に一部加筆

第 20-2 表 (1) 活動履歴帳票 (鳴子火山)

20. 鳴子火山		データベース (DB) による年代・体積										
噴火史の概略		【年代】 0.1Ma～現在 (AD837) 【体積】 15.1km³										
主要参考文献 土谷ほか(1997)		引用DB 日本の火山 (http://gbank.gsj.jp/volcano/)										
		【年代】 西来ほか編(2014)、中野ほか編(2013)										
		【体積】 第四紀火山カタログ委員会編(1999)										
活動期	細分・別称	噴出物	マグマ種類	噴火様式	年代	根拠	引用精度	体積注)	体積注)	根拠	引用	信頼度
後カルデラ期	降下火山灰層	—	—	水蒸気爆発・降灰	AD838	引用(古文書解読)	*1	◎	—	—	—	—
	降下火山灰層	—	—	水蒸気爆発・降灰	2.7～3.3ka	¹⁴ C年代	*1	◎	—	—	—	—
	鳴子湯沼-上原テフラ	—	—	降下軽石・火山灰	18ka	引用(4-溶岩&配粒)	*1	△	不明	—	—	—
	松ヶ岳溶岩	—	—	20ka以降	20ka以降	引用	*1	△	不明	—	—	—
	10ka	—	—	根拠未記載	*2	◎	0.1	◎	※1	△	—	—
	鳥谷ヶ森溶岩	デイサイト ～流紋岩	溶岩ドーム	11.830±190BP以降	¹⁴ C年代	*3	◎	※1	—	—	—	—
	尾ヶ岳溶岩	—	—	35.5±12ka(鷹ヶ巻)	Tl年代	*3	◎	—	—	—	—	—
	28.1±8.1ka(鷹ヶ巻)	Tl年代	*3	◎	—	—	—	—	—	—	—	—
	28.1±8.1ka(鷹ヶ巻)	Tl年代	*3	◎	—	—	—	—	—	—	—	—
	胡蝶ヶ岳溶岩	—	—	65.4±3.3ka	Ft年代	*4	◎	—	—	—	—	—
カルデラ形成期	柳沢凝灰岩	デイサイト ～流紋岩	降下火砕物	44.3±3.1ka, 40.3±1.0ka	Ft年代	*4	◎	—	—	—	—	—
	4.5万年前)	—	ベースサージ	42.6±3.7ka	Ft年代	*4	◎	5～10	分布面積と層厚から算出	*5	△	—
	37±8ka	—	—	37±8ka	Tl年代	*4	◎	—	—	—	—	—
	44±7ka, 41±6ka	—	—	44±7ka, 41±6ka	Tl年代	*4	◎	—	—	—	—	—
	42±5ka, 44±5ka	—	—	42±5ka, 44±5ka	Tl年代	*4	◎	—	—	—	—	—
	荷坂凝灰岩	デイサイト ～流紋岩	火砕流	73±9ka, 72.8±7ka	Tl年代	*4	◎	—	—	—	—	—
	7.3万年前)	—	—	86ka	引用(Ft)	*4	△	—	—	—	—	—
	41.400±330BP	—	—	41.400±330BP	¹⁴ C年代	*4	◎	5～10	分布面積と層厚から算出	*5	△	—
	50.880±2150BP	—	—	50.880±2150BP	¹⁴ C年代	*4	◎	—	—	—	—	—
	112±11ka	—	—	112±11ka	Tl年代	*4	◎	—	—	—	—	—
一迫軽石	—	—	降下軽石	122±11ka	Tl年代	*4	◎	不明	—	—	—	—
	—	—	—	123±12ka	Tl年代	*4	◎	—	—	—	—	—
	—	—	—	168±13ka	Ft年代	*4	◎	—	—	—	—	—
	—	—	—	148ka	引用(Ft)	*4	◎	—	—	—	—	—
	—	—	—	130ka	引用(Ft)	*4	△	—	—	—	—	—
	—	—	—	192±17ka	Tl年代	*4	△	不明	—	—	—	—
岩出山軽石	—	—	降下軽石	165±19ka	Tl年代	*4	◎	—	—	—	—	—
	—	—	—	165±22ka	Ft年代	*4	◎	不明	—	—	—	—
	—	—	—	154ka	引用(Ft)	*4	◎	—	—	—	—	—
	—	—	—	160ka	引用(Ft)	*4	◎	—	—	—	—	—

※1: 第四紀火山カタログ委員会編(1999)を引用
 ※2: 文献中の階段図等から読み取った値
 ※3: 文献中の年代から算出した値
 ※4: DREに換算されている場合は斜体で表記した
 ※5: 分布面積と層厚から算出した値

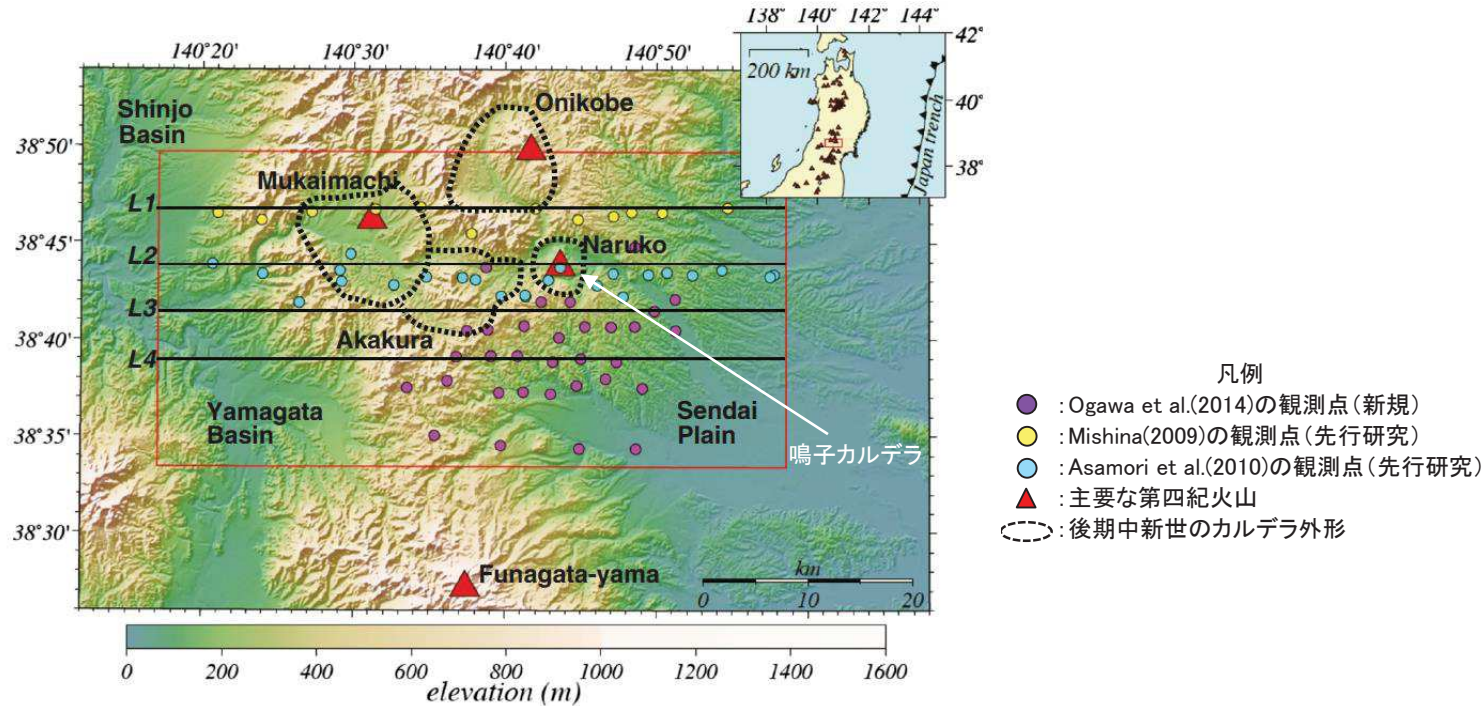
引用文献
 *1: 伊藤謙一, 坂口圭一, 山元孝広 (1997): 鳴子火山における後カルデラ期の水蒸気爆発. 地球惑星科学国際連学会合同大会予稿集, p. 805, X12-P08.
 *2: 伊藤なつみ, 藤嶋明彦, 長谷川 健 (2012): 宮城県鳴子火山起源の火砕流堆積物の岩石学的検討. 日本火山学会講演予稿集, P37.
 *3: 高島 勲, 村上英樹, ディク グエン ホン, エディ ステプタ, 毛利隆司, 柴田能成 (2006): 鬼首・鳴子カルデラ周辺の後期更新世火砕流堆積物及び火山岩の熱ルミネッセンス年代. 岩石誌物科学, 35, pp. 70-77.
 *4: 岸田 勉 (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, pp. 269-282.
 *5: 坂口圭一, 山田善三 (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. 地質調査所研究報告, 268, pp. 37-59.
 その他) 土谷慎之, 伊藤謙一, 関 隆規, 藤谷敏光 (1997): 岩ヶ崎地域の地質. 地域地質研究報告(5万分の1地質図録). 地質調査所, 96p.

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 【噴火規模の検討:鳴子カルデラの地下構造①】

➤ Ogawa et al.(2014)は、MT法(Magnetotelluric Method)を用いて、鳴子カルデラ周辺の地下構造の比抵抗を検討している。

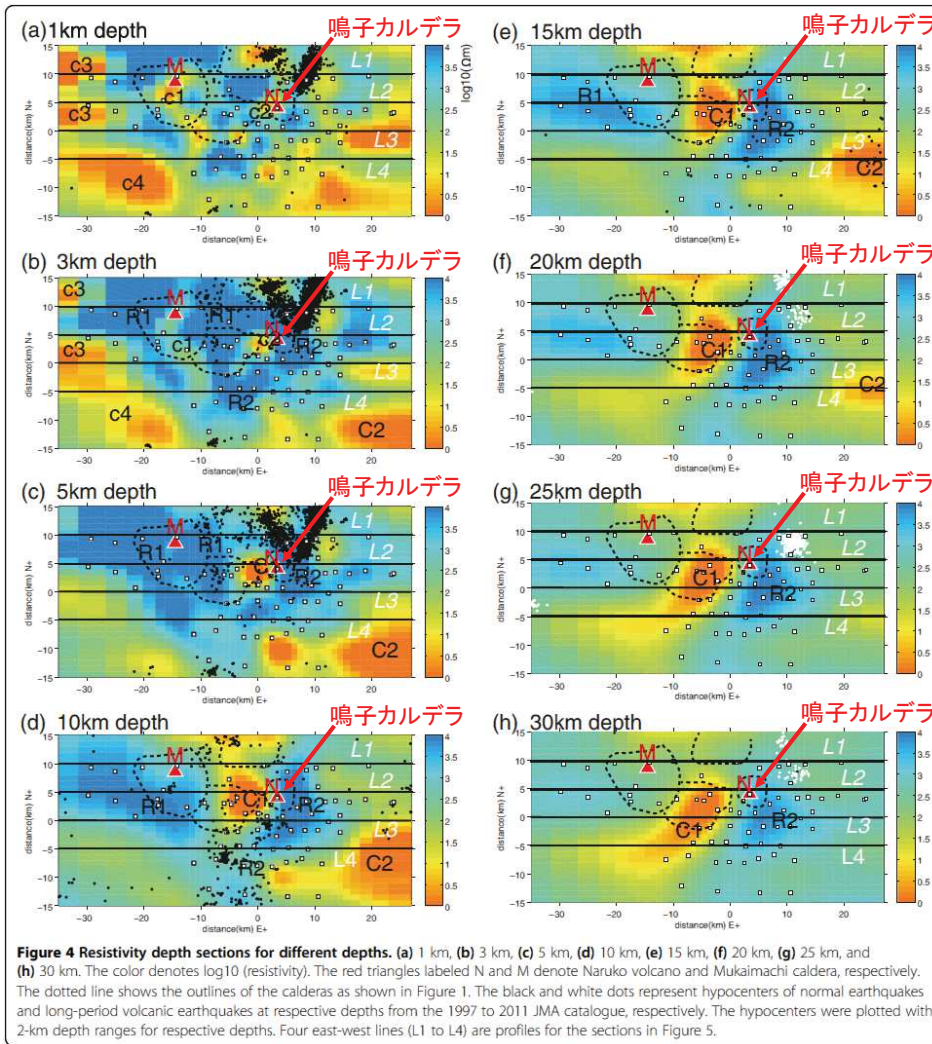


調査範囲及び探査測線・測定点位置図(Ogawa et al.(2014)に一部加筆)

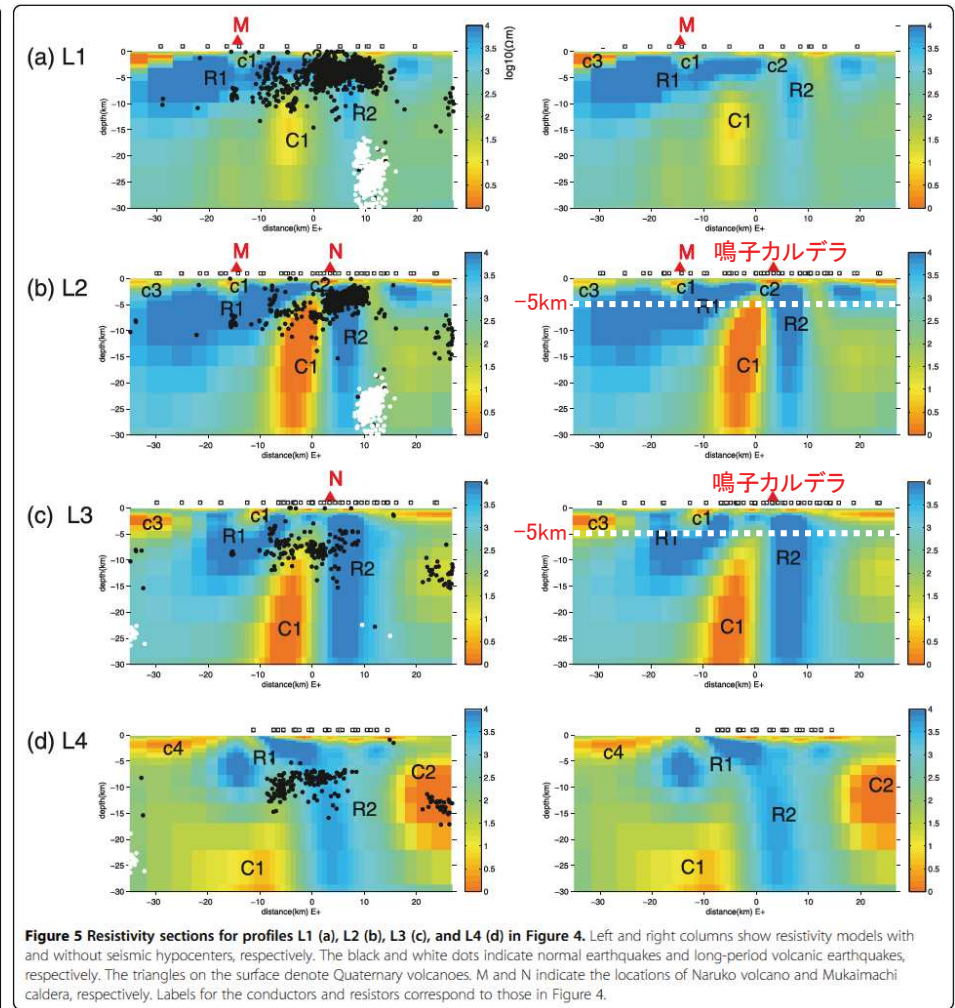
【比抵抗】

浅森・梅田(2005)によると、比抵抗は岩石の状態(空隙率や水分飽和率、地中温度等)を反映してオーダーで変化する物性値として整理され、メルト(マグマ)や流体で満たされた岩盤は低比抵抗を示すとされている。

➤ 鳴子カルデラ直下付近には深部へと連続する低比抵抗体が確認されることから、これらはマグマもしくは熱水流体の可能性が示唆される。



比抵抗水平断面図(Ogawa et al.(2014)に加筆)



比抵抗鉛直断面図(Ogawa et al.(2014)に加筆)

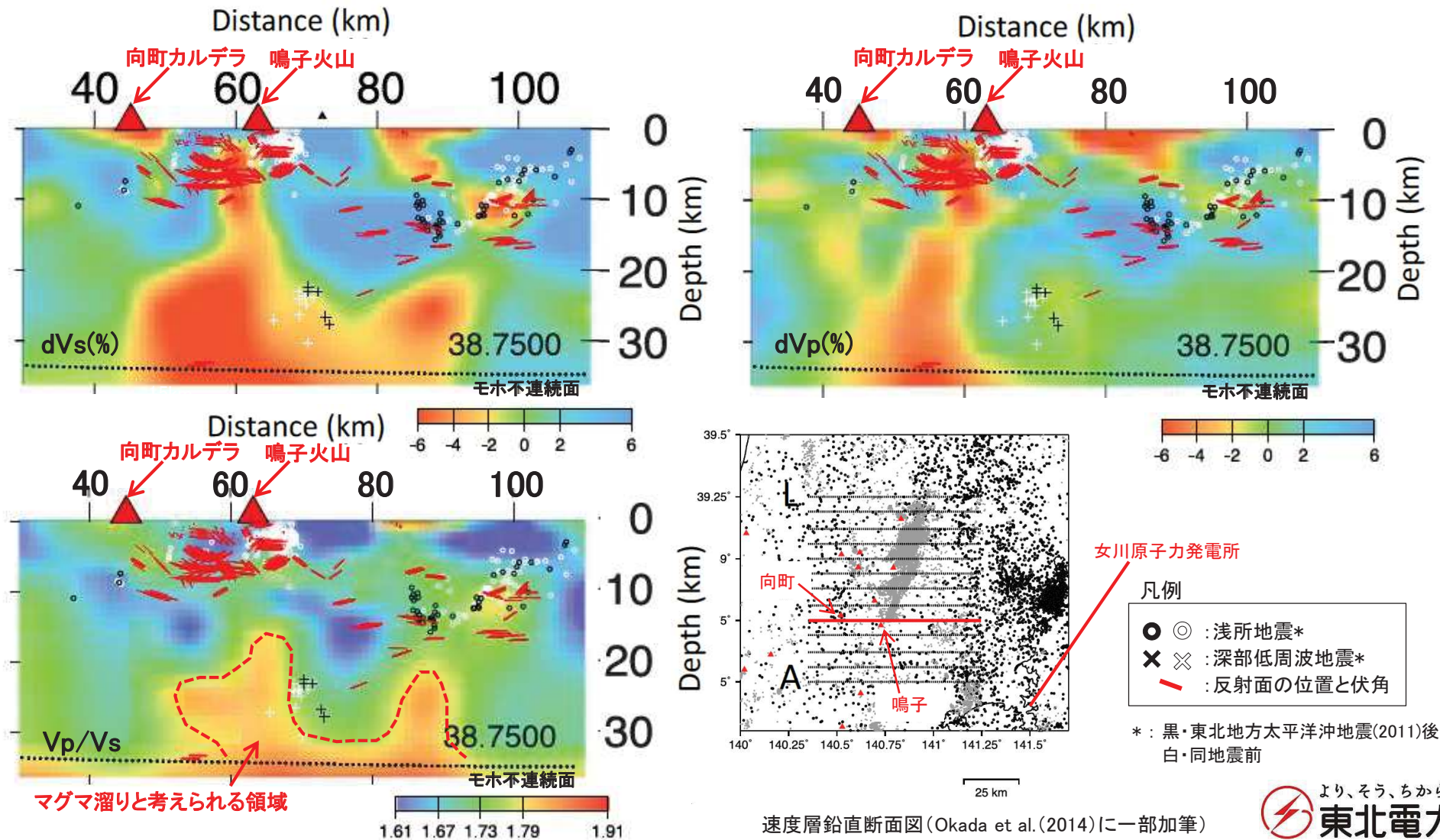
3. 原子力発電所に影響を及ぼし得る火山事象の抽出

3.1 降下火砕物の影響評価

3.1.3 シミュレーション 【噴火規模の検討:鳴子カルデラの地下構造③】

Okada et al.(2014)は、地震波トモグラフィにより鳴子カルデラ付近の地下構造の検討を行っている。

- 鳴子火山の直下に低速度体がある事を指摘している。
- 低速度体の中でも、下部地殻内の V_p/V_s が大きい領域は溶融したマグマを表している可能性がある。



速度層鉛直断面図(Okada et al.(2014))に一部加筆)

【現在の活動】

- 火山噴火予知連絡会(第143回)(気象庁(2019a))では、鳴子カルデラについて「火山活動に特段の変化はなく、静穏に経過しており、噴火の兆候は認められない」とされており、火山噴火予知連絡会(第143回)(国土地理院(2019a))でも「ノイズレベルを超える変動はみられません」とされている。
- また、鳴子カルデラ付近を震源とする地震は観測されず、噴気などの異常に関する通報もされていない。

【地殻変動：2011年東北地方太平洋沖地震以前】

- 気象研究所技術報告第69号(安藤(2013))では、国内の火山周辺における干渉解析結果を示し、地殻変動(位相変化)が認められる火山について報告しているものの、鳴子カルデラは報告されていない。

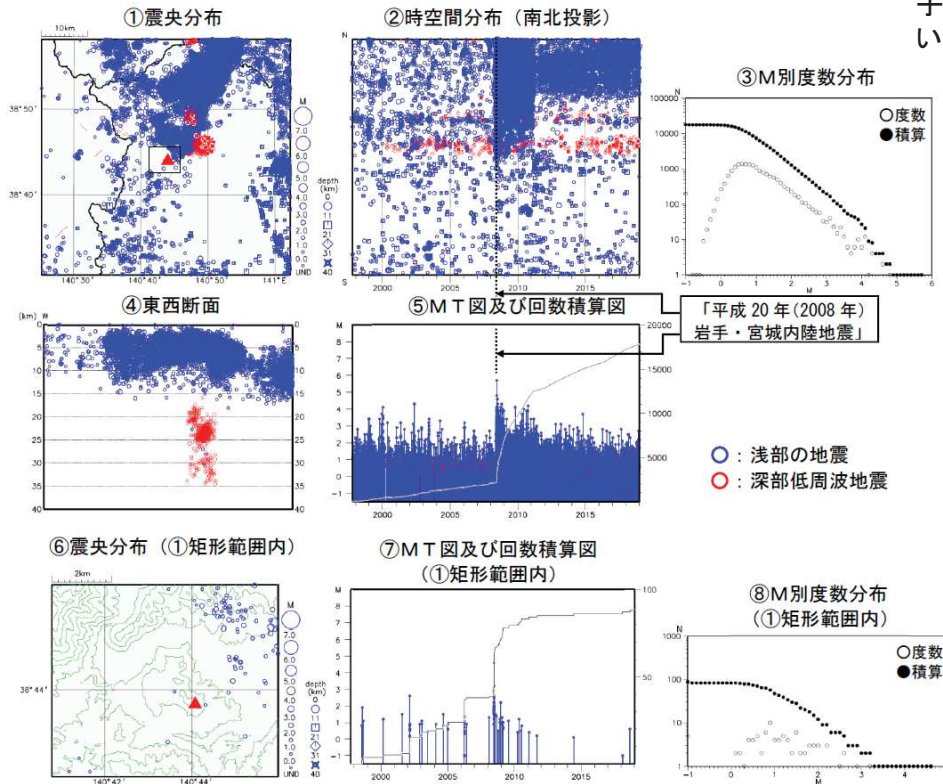
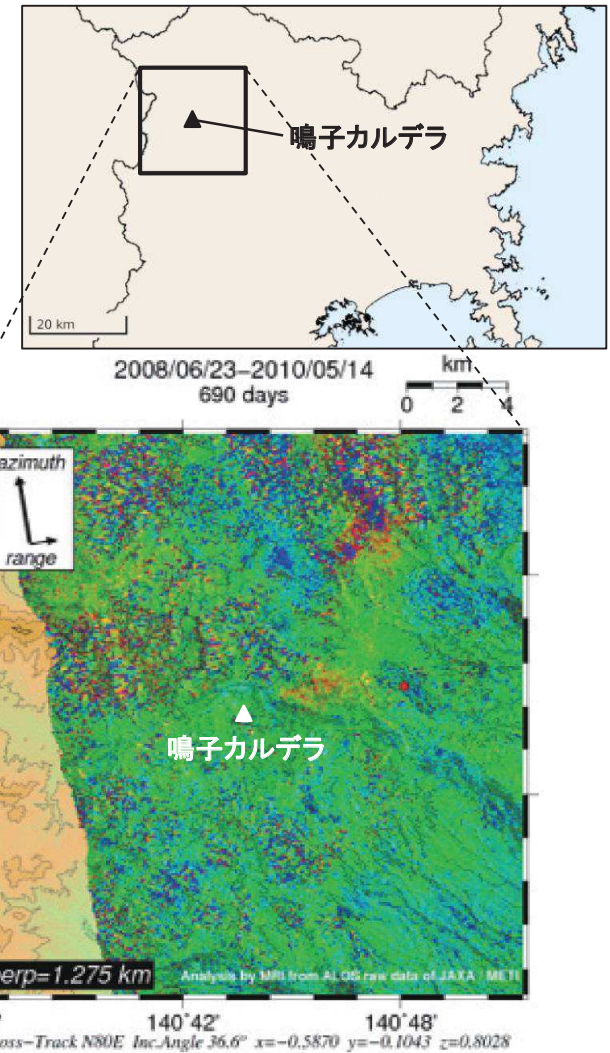


図4 鳴子 一元化震源による鳴子周辺の地震活動 (1997年10月~2018年12月31日)
注) 2011年10月以降、検知能力向上
この図の作成にあたっては、国土地理院発行の「数値地図25000(地図画像)」、「数値地図50mメッシュ(標高)」を使用した。
・表示している震源には、震源決定時の計算誤差の大きなものが表示されることがある。

(火山噴火予知連絡会(第143回)(気象庁(2019a)))



● : GPS観測点(国土地理院) 鳴子カルデラ周辺における干渉SAR解析結果 (気象研究所技術報告第69号(安藤(2013)))に加筆)
Far 11.8cm Near

【地殻変動: 2011年東北地方太平洋沖地震の影響】

- Ozawa and Fujita (2013) 及び Takada and Fukushima (2013) は InSAR 解析より, 2011年東北地方太平洋沖地震の影響に伴って, 栗駒山から鳴子カルデラにかけての火山地域で2~5cmの沈降が生じたことを報告している(右図(b))。この沈降は栗駒山から鳴子カルデラにかけての火山地域の下に強度が低い高温岩体が広く分布していることから, 2011年東北地方太平洋沖地震に伴う東西引張の力を受けて引き伸ばされ, 沈降した可能性があるとして報告している。
- また, 塚本ほか(2014), 高橋ほか(2016)では, 鳴子カルデラをほぼ東西に走る国道47号線に沿った二等水準路線の約10km区間で水準測量を行い, Ozawa and Fujita (2013) で確認された沈降が継続していることを報告している。

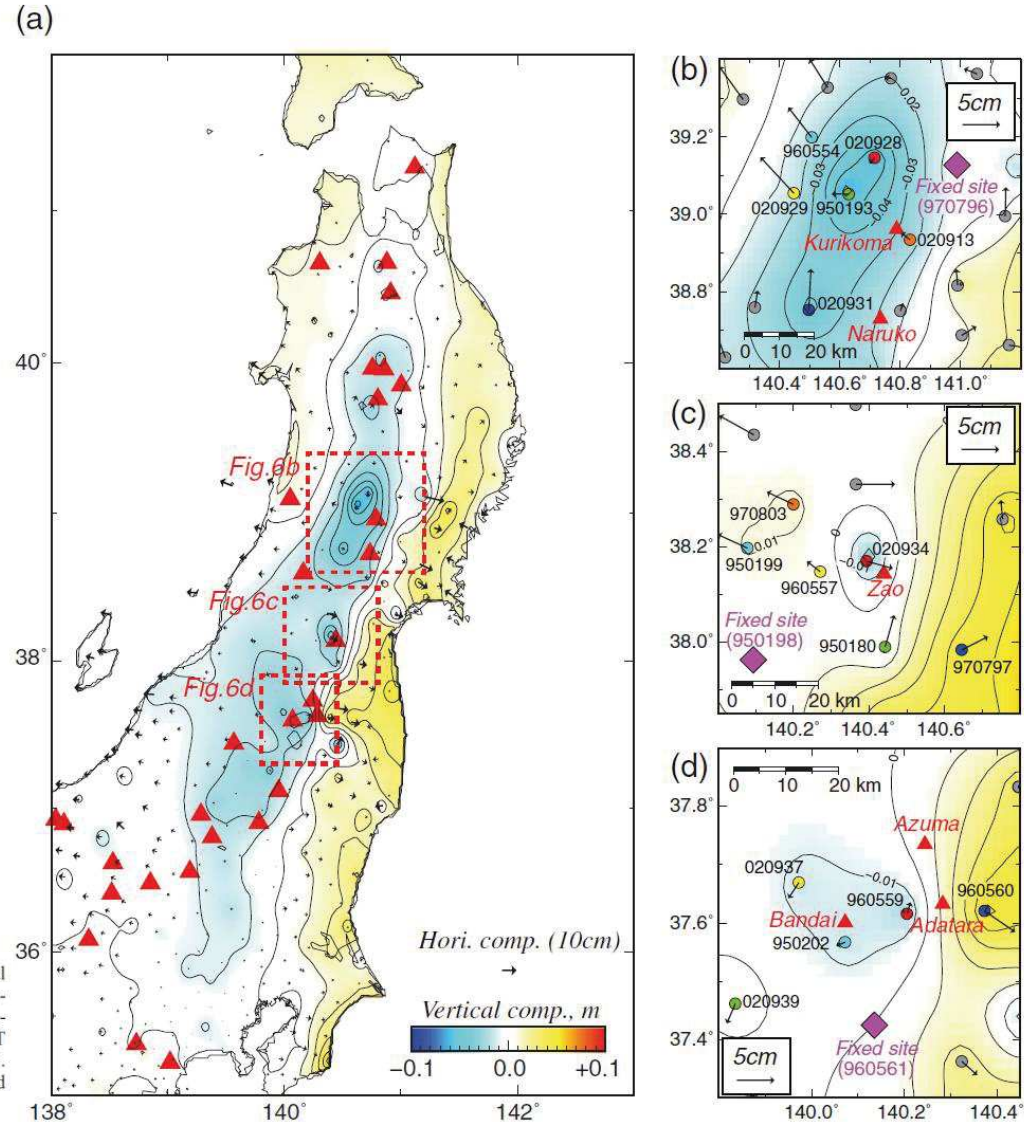


Figure 6. (a) Residual of GEONET deformation from the fault model. The arrow denotes the horizontal component of the residual, and the color denotes the vertical component of the residual. Thin contours indicate a vertical component of the residual at intervals of 1 cm. Dashed red boxes correspond to areas indicated in Figures 6b, 6c, and 6d. Red triangles indicate locations of volcanoes. (b) Residual of GEONET deformation around the Kurikoma volcano. The purple diamond indicates the fixed site for the residual. Circles indicate GEONET stations, and colors are the same as in Figure. (c) Same as Figure 6b but around the Zao volcano. (d) Same as Figure 6b but around the Azuma volcano.

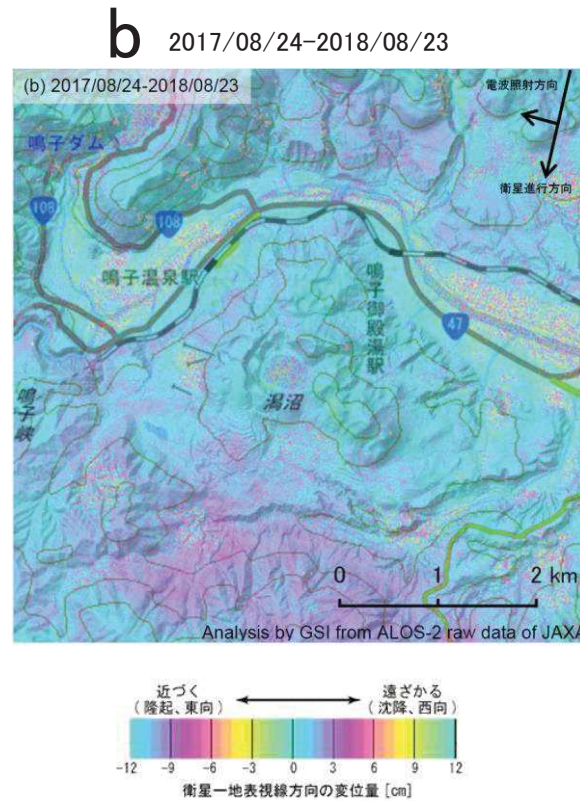
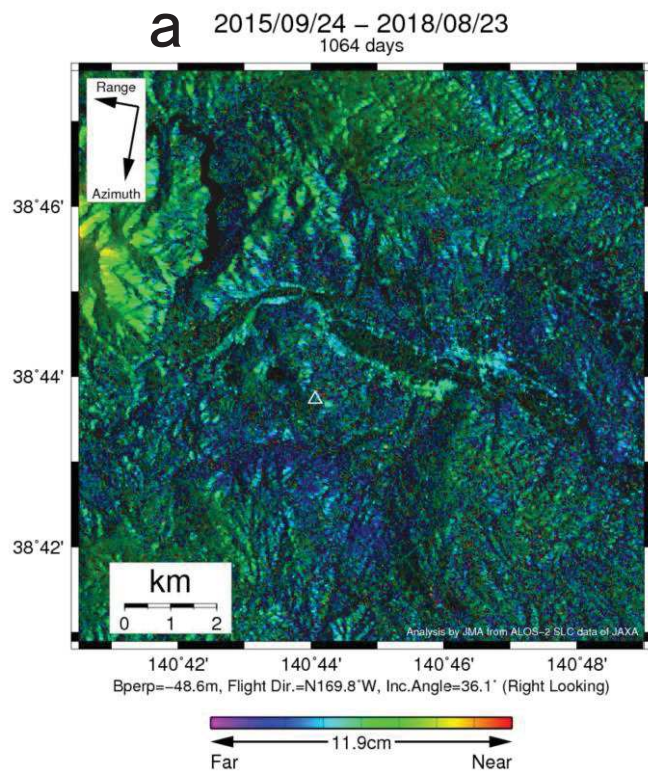
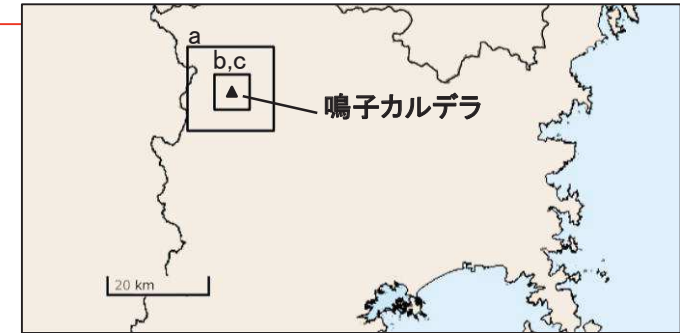
3. 原子力発電所に影響を及ぼし得る火山事象の抽出

3.1 降下火砕物の影響評価

3.1.3 シミュレーション 【噴火規模の検討: 鳴子カルデラの現在の活動・地殻変動③】

【地殻変動: 2011年東北地方太平洋沖地震以降】

- 火山噴火予知連絡会(第143回)(気象庁(2019b))では、「ノイズレベルを超えるような位相変化は認められない」とされており、火山噴火予知連絡会(第143回)(国土地理院(2019a))では、「ノイズレベルを超える変動は見られない」とされている。



鳴子カルデラ周辺における干渉SAR解析結果
(火山噴火予知連絡会(第143回)(気象庁(2019b)))

鳴子カルデラ周辺における干渉SAR解析結果
(火山噴火予知連絡会(第143回)(国土地理院(2019a)))

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

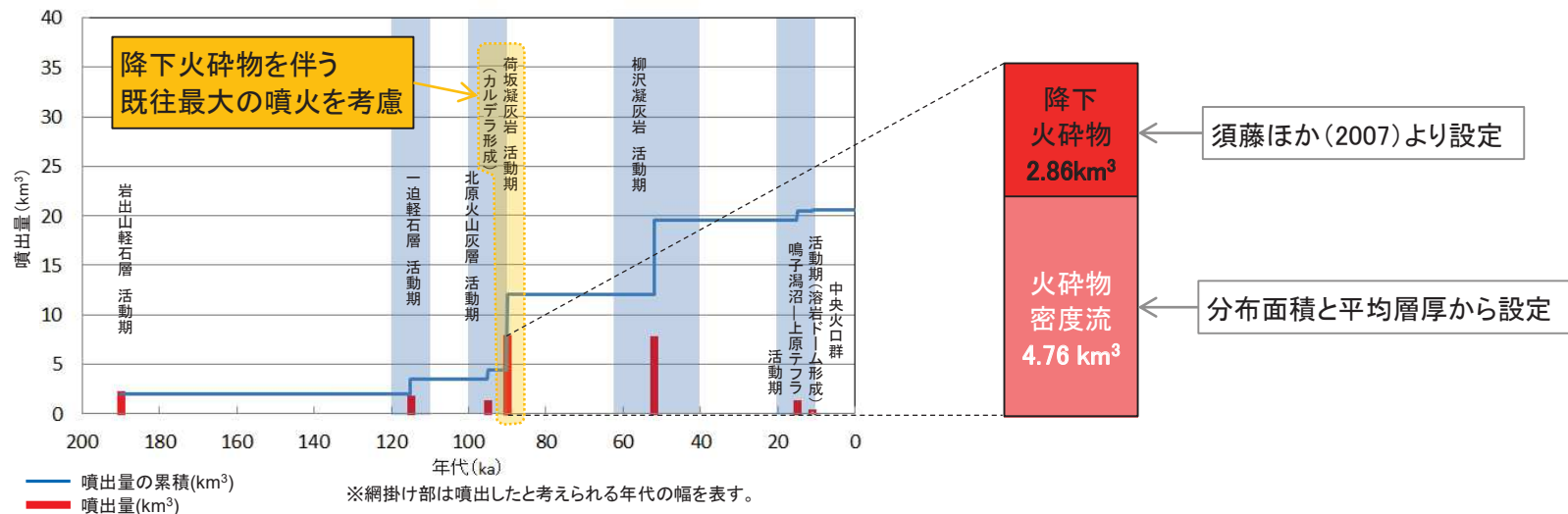
3.1.3 シミュレーション【噴火規模の検討：鳴子カルデラのまとめ】

活動履歴 (噴火ステージ)	<ul style="list-style-type: none"> 伊藤ほか(1997), 気象庁編(2013)及び山元(2014)によれば, 鳴子カルデラの噴火ステージは「後カルデラ期」とされる。
地下構造	<ul style="list-style-type: none"> Ogawa et al.(2014)によれば, 鳴子カルデラ直下付近には深部へと連続する低比抵抗体が確認され, これらはマグマもしくは熱水流体の可能性が示唆される。 Okada et al. (2014)によれば, 鳴子カルデラ直下から深度約15km以浅では熱水流体の存在が推測され, それ以深ではマグマ溜りの存在が推測される。
現在の活動	<ul style="list-style-type: none"> 火山噴火予知連絡会(第143回)(気象庁(2019a))では「火山活動に特段の変化はなく, 静穏に経過しており, 噴火の兆候は認められない」とされている。 鳴子カルデラ付近を震源とする地震は少なく, 噴気などの異常に関する通報はされていない。
地殻変動	<ul style="list-style-type: none"> Ozawa and Fujita(2013), Takada and Fukushima(2013), 塚本ほか(2014)及び高橋ほか(2016)によれば, 鳴子カルデラ周辺は2011年東北地方太平洋沖地震以降, わずかに沈降傾向が確認される。

鳴子カルデラの現在の噴火ステージは「後カルデラ期」であると考えられ, 今後も「後カルデラ期」の活動が継続するものと判断されるが, 地下深部にはマグマの存在が示唆されることから, 全活動期間の既往最大の噴火を考慮する。

↓

下図のとおり, 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は2.86(km³)とする。



鳴子カルデラの噴出量一年代階段ダイヤグラム

(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。)

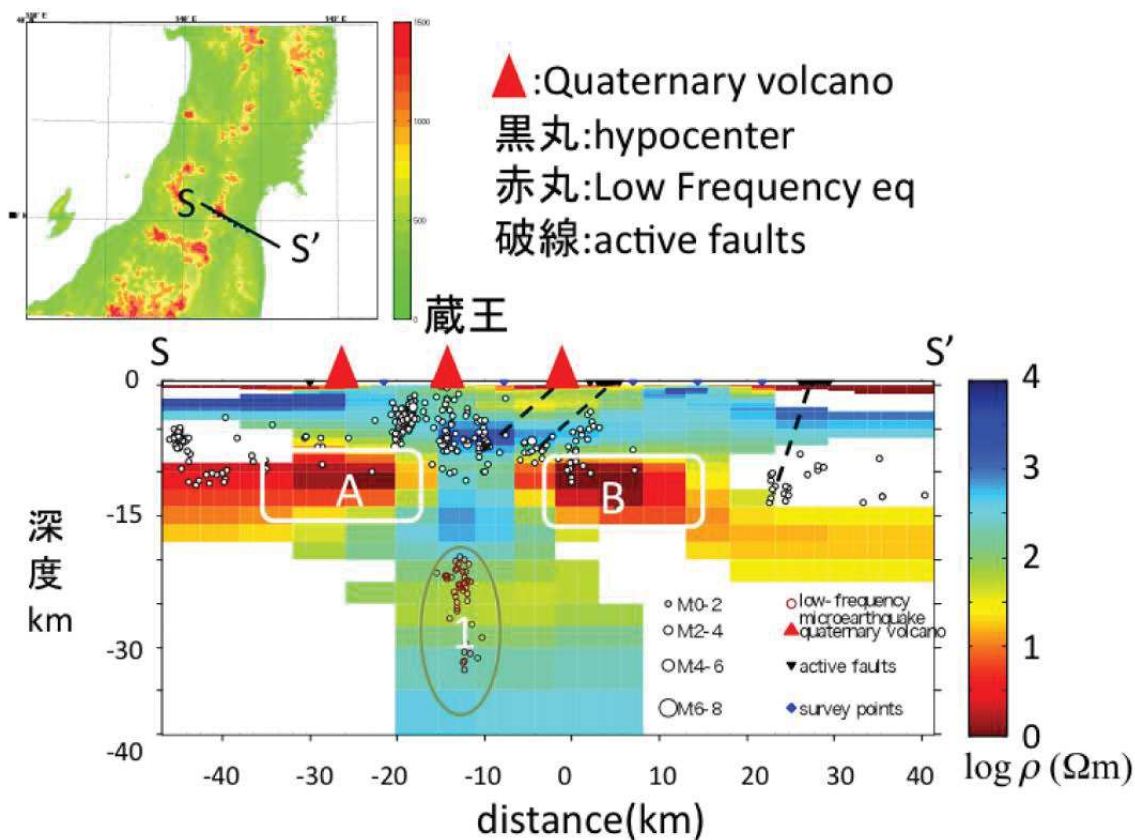
3. 原子力発電所に影響を及ぼし得る火山事象の抽出

3.1 降下火砕物の影響評価

3.1.3 シミュレーション 【噴火規模の検討: 蔵王山の地下構造①】

前原ほか(2010)では、MT法により蔵王山周辺の地下構造の検討を行っており、以下のとおり報告している。

- 中部地殻付近に水平方向に解れた二カ所の低比抵抗体A、Bがみられる。これらの低比抵抗体は中部地殻の温度等を考慮すると、流体であると考えられる。
- 蔵王山直下の深さ20kmにも、周囲よりは比抵抗が低い部分1がみられる。1は蔵王火山直下であることと、深部低周波地震の震源も分布していることから、メルトの存在によって低比抵抗を示す可能性がある。



比抵抗鉛直断面図
(前原ほか(2010))

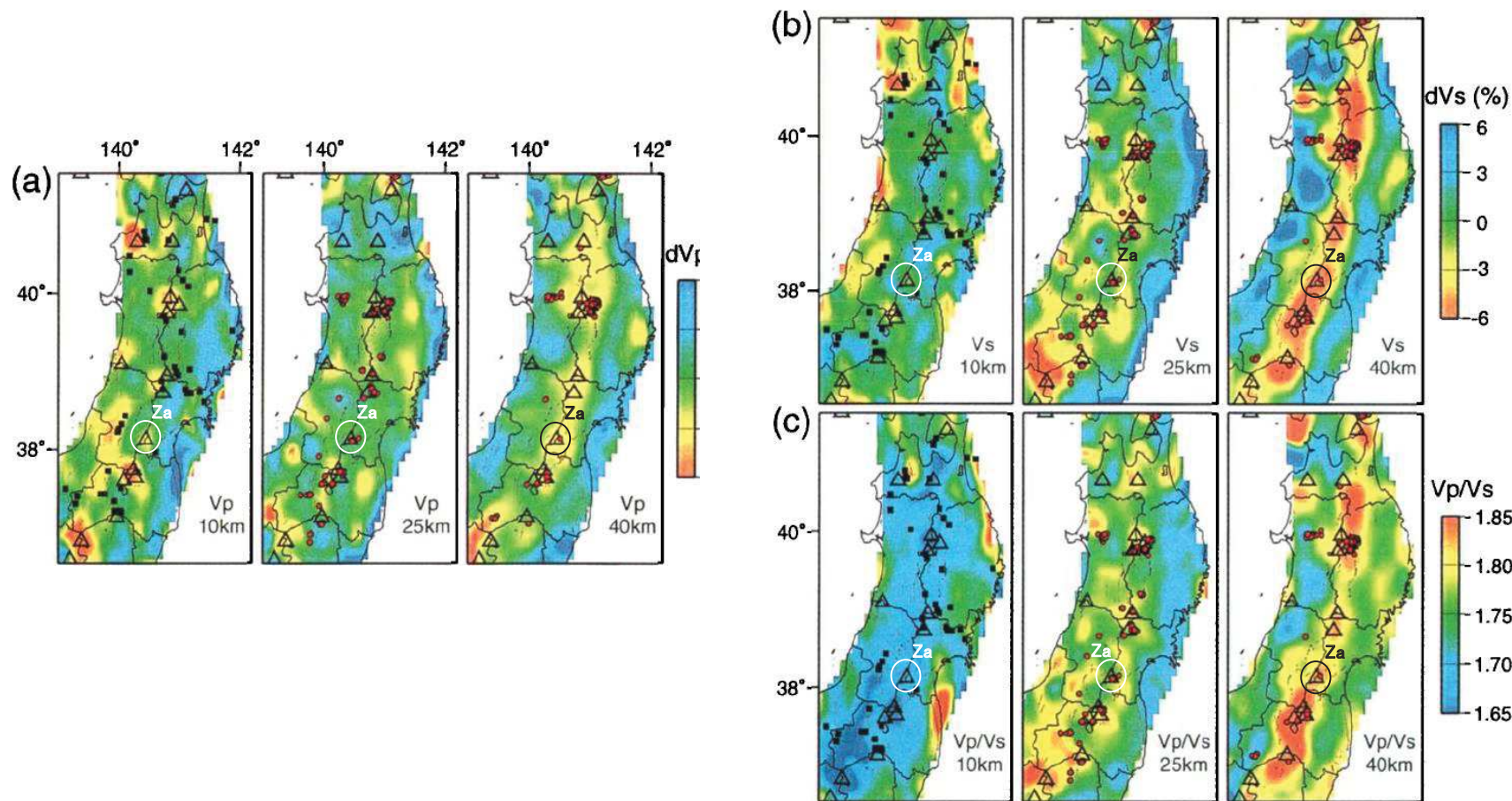
3. 原子力発電所に影響を及ぼし得る火山事象の抽出

3.1 降下火砕物の影響評価

3.1.3 シミュレーション 【噴火規模の検討: 蔵王山の地下構造②】

Nakajima et al. (2001)では、地震波トモグラフィにより東北地方の深部地下構造の検討を行っている。

- 蔵王山の直下10km付近に V_p が低い領域が確認されるが、 V_p/V_s は蔵王山周辺も含めて小さいことから熱水流体の存在が示唆される。
- 蔵王山の直下40km付近では、 V_p 、 V_s ともに低い領域が確認され、 V_p/V_s も低くなっていることから、マグマの存在が示唆される。

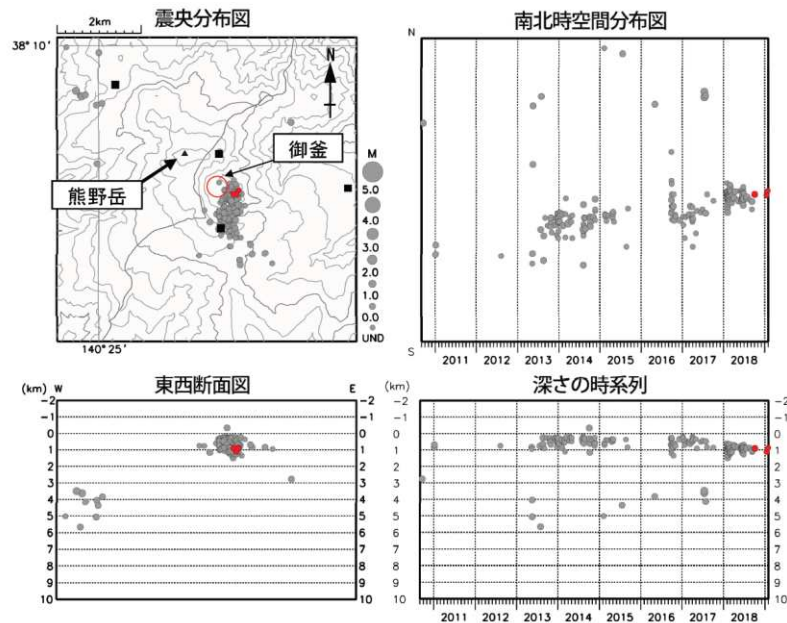


速度層水平断面図(Nakajima et al.(2001)に一部加筆)

【現在の活動】

火山噴火予知連絡会(第143回)(気象庁(2019c))では、蔵王山の概況について以下のとおり報告している。

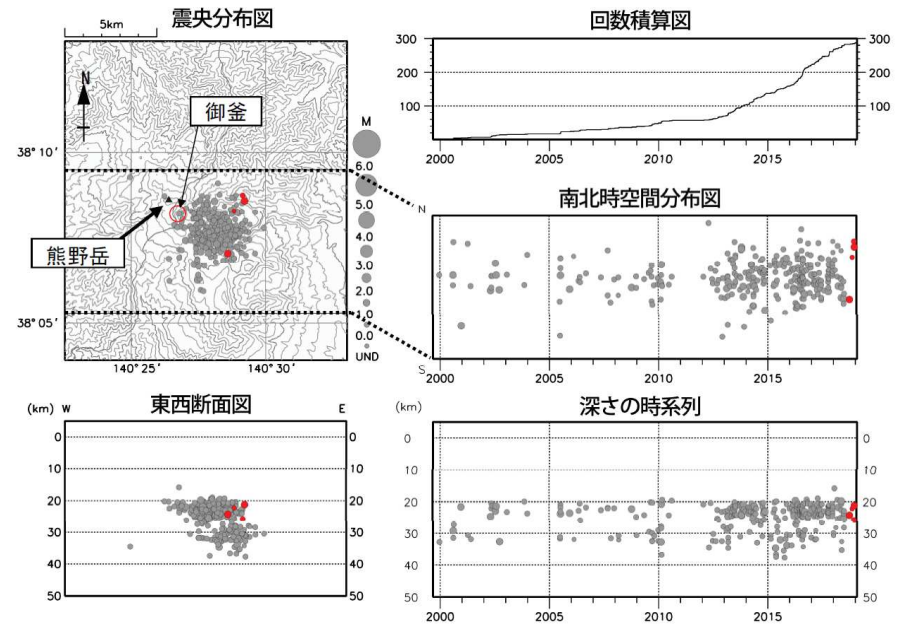
- 2019年1月3日と7日に火山性微動が発生し、微小な地震の活動がやや活発になったが、その他の期間の火山活動は概ね静穏に経過した。
- 2013年以降、時々、火山性地震や火山性微動が発生し、地殻変動がみられるなど、火山活動が高まることがあるので、今後の火山活動の推移に注意が必要である。



● : 2018年10月1日~2019年1月31日 ● : 2010年9月1日~2018年9月30日 ■ : 地震観測点位置

図10 蔵王山 地震活動 (2010年9月~2019年1月31日)

- ・表示条件: 相数7以上
- ・震源計算には“hypomh(Hirata and Matsu'ura, 1987)”を使用している。
- ・この地図の作成には国土地理院発行の「数値地図50mメッシュ(標高)」を使用した。



● : 2018年10月1日~2019年1月31日 ● : 1999年9月1日~2018年9月30日

図11 蔵王山 一元化震源による深部低周波地震活動 (1999年9月~2019年1月31日)

- 注) 2011年10月以降、検知能力が向上している。
- ・2013年以降、深部低周波地震(特に深さ20~30km付近の地震)が増加し、やや多い状態で経過している。
- ・表示している震源には、震源決定時の計算誤差の大きなものが表示されることがある。
- ・この地図の作成には国土地理院発行の「数値地図50mメッシュ(標高)」を使用した。

(火山噴火予知連絡会(第143回)(気象庁(2019c)))

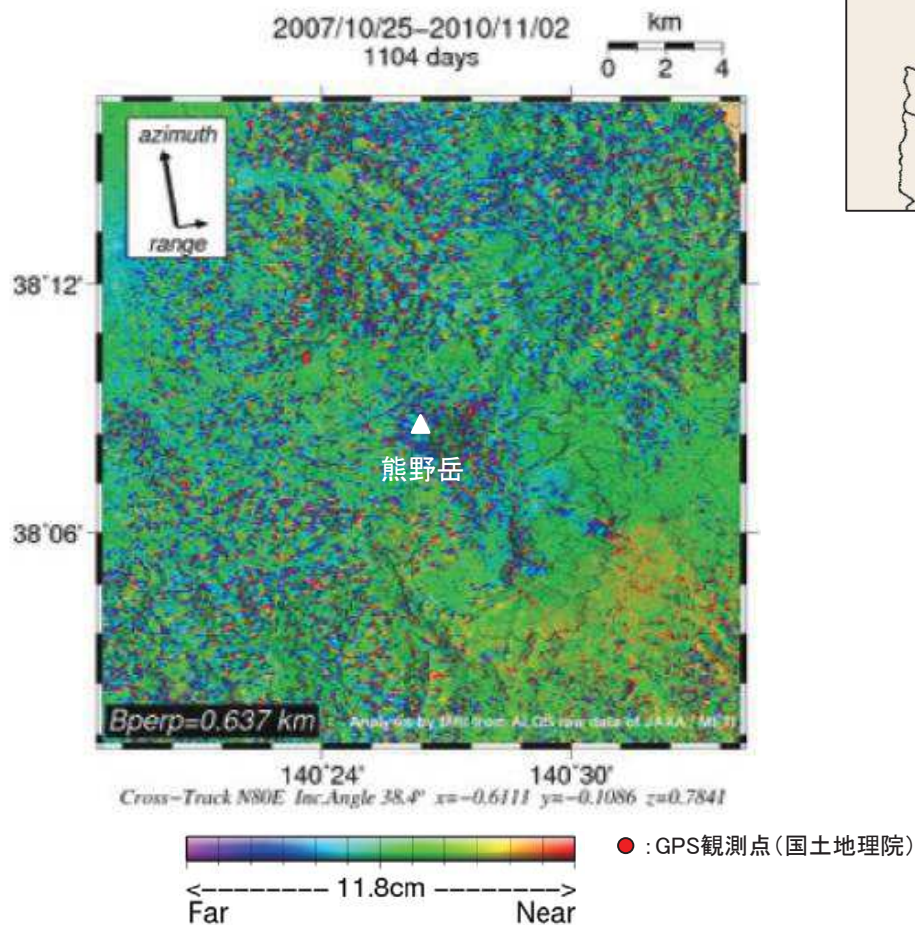
3. 原子力発電所に影響を及ぼし得る火山事象の抽出

3.1 降下火砕物の影響評価

3.1.3 シミュレーション【噴火規模の検討:蔵王山の現在の活動・地殻変動②】

【地殻変動:2011年東北地方太平洋沖地震以前】

- 気象研究所技術報告第69号(安藤(2013))では,国内の火山周辺における干渉解析結果を示し,地殻変動(位相変化)が認められる火山について報告しているものの,蔵王山については記載されていない。



蔵王山周辺における干渉SAR解析結果
(気象研究所技術報告第69号(安藤(2013)))に加筆



【地殻変動:2011年東北地方太平洋沖地震の影響】

➢ Ozawa and Fujita (2013) 及び Takada and Fukushima (2013) はInSAR解析より, 2011年東北地方太平洋沖地震の影響に伴って, 蔵王山周辺で1cm程度の沈降が生じたことを報告している(右図(c))。この沈降は蔵王下に強度が低い高温岩体が広く分布していることから, 2011年東北地方太平洋沖地震に伴う東西引張の力を受けて引き伸ばされ, 沈降した可能性があると報告している。

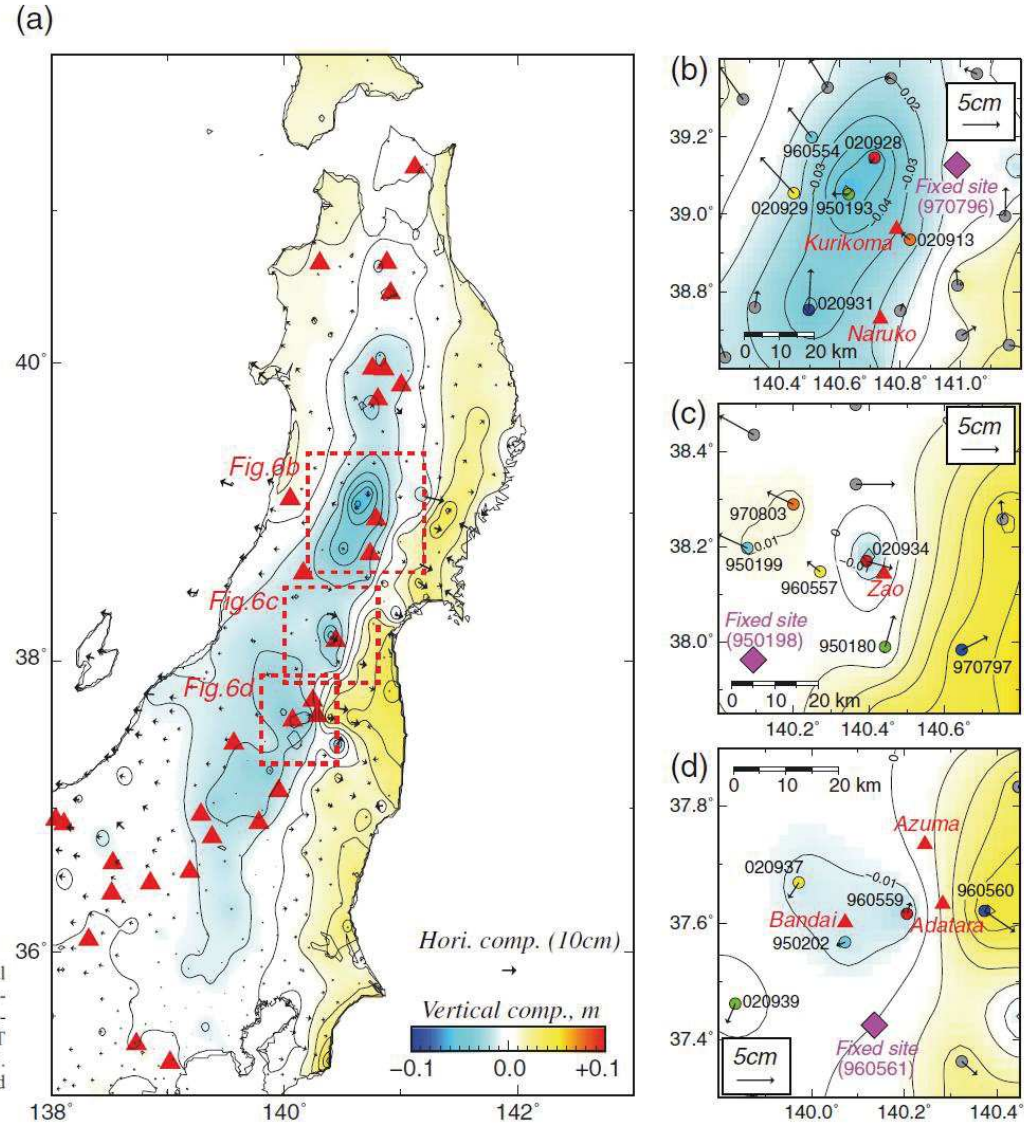


Figure 6. (a) Residual of GEONET deformation from the fault model. The arrow denotes the horizontal component of the residual, and the color denotes the vertical component of the residual. Thin contours indicate a vertical component of the residual at intervals of 1 cm. Dashed red boxes correspond to areas indicated in Figures 6b, 6c, and 6d. Red triangles indicate locations of volcanoes. (b) Residual of GEONET deformation around the Kurikoma volcano. The purple diamond indicates the fixed site for the residual. Circles indicate GEONET stations, and colors are the same as in Figure. (c) Same as Figure 6b but around the Zao volcano. (d) Same as Figure 6b but around the Azuma volcano.

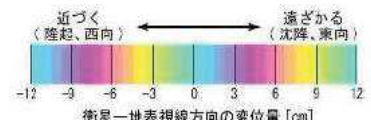
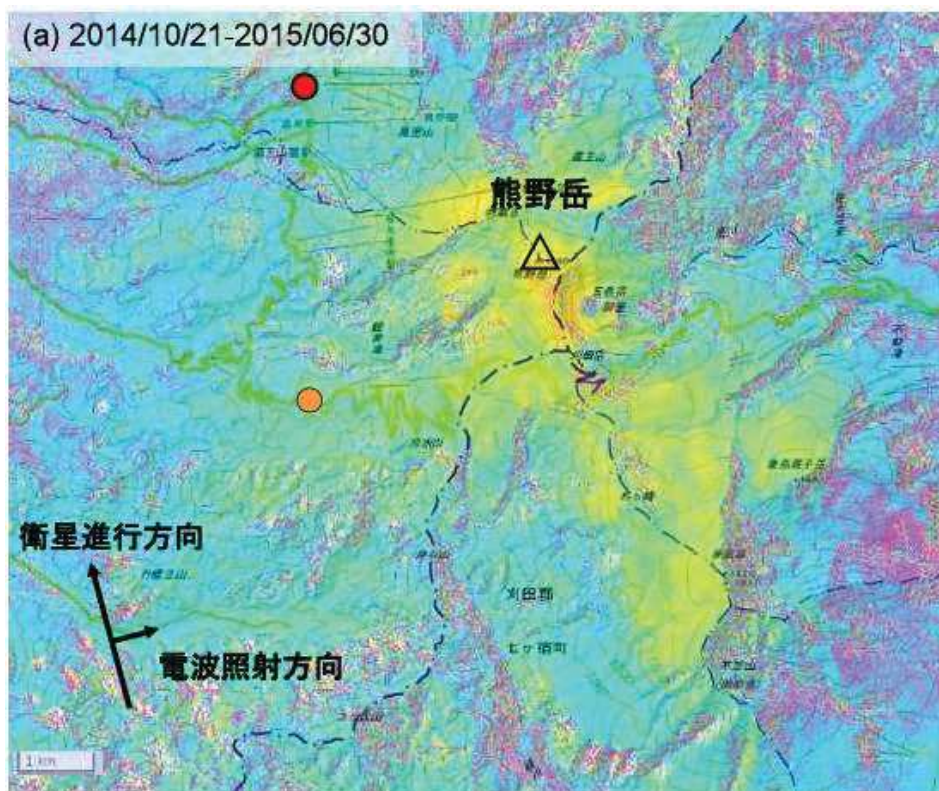
3. 原子力発電所に影響を及ぼし得る火山事象の抽出

3. 1 降下火砕物の影響評価

3. 1. 3 シミュレーション 【噴火規模の検討:蔵王山の現在の活動・地殻変動④】

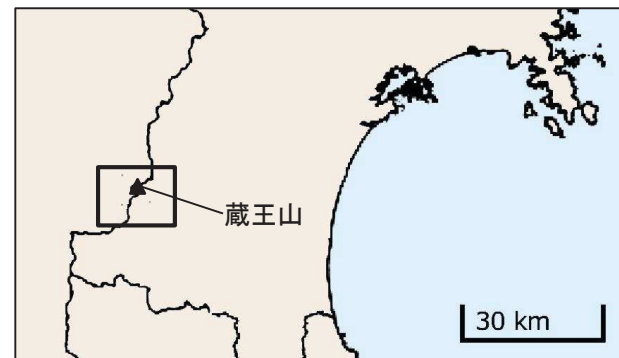
【地殻変動:2011年東北地方太平洋沖地震以降】

- 火山噴火予知連絡会(第133回)(国土地理院(2015))では、「蔵王山山体の広い範囲では隆起傾向を示す地殻変動が確認される。」とされている。



- : GNSS観測点(国土地理院)
- : GNSS観測点(気象庁)

蔵王山周辺における干渉SAR解析結果
(火山噴火予知連絡会(第133回)(国土地理院(2015)))



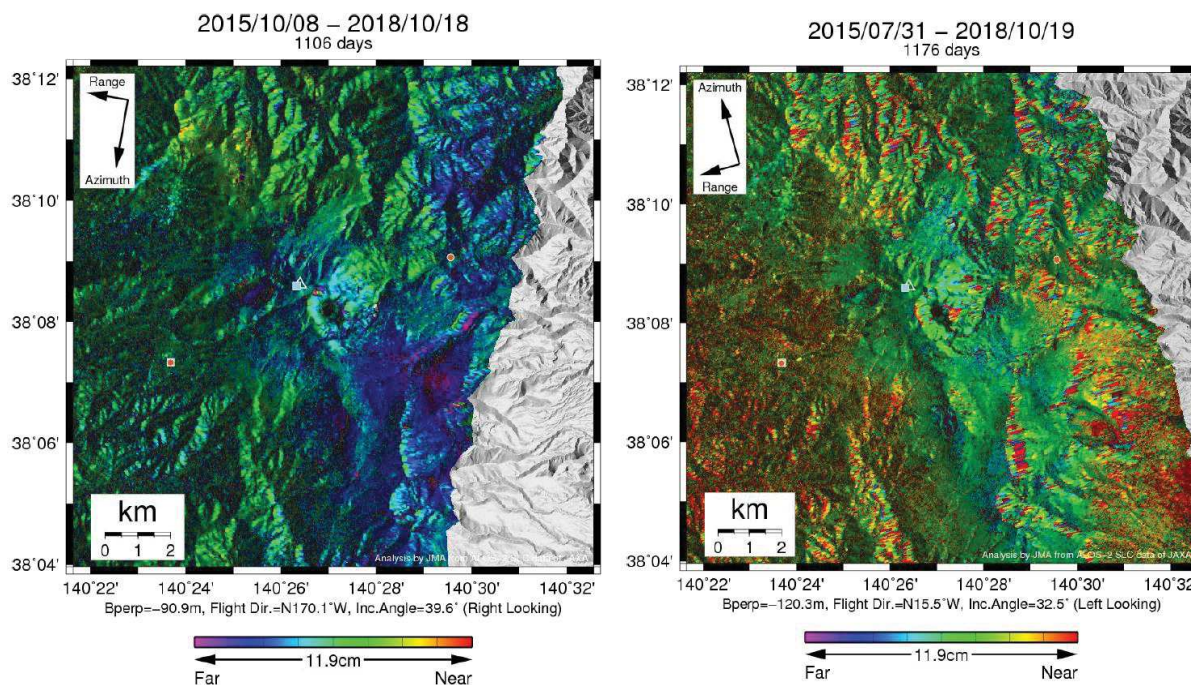
3. 原子力発電所に影響を及ぼし得る火山事象の抽出

3.1 降下火砕物の影響評価

3.1.3 シミュレーション【噴火規模の検討:蔵王山の現在の活動・地殻変動⑤】

【地殻変動:2011年東北地方太平洋沖地震以降】

- 火山噴火予知連絡会(第143回)(気象庁(2019c))では、「ノイズレベルを超えるような位相変化は認められない。」とされている。



第1図 パス 18(SM1-U2_7)及びパス 119(SM1_U2_6)による蔵王山周辺の干渉解析結果

図中の白三角印は山頂位置を示す。丸印はGNSS観測点、四角印は傾斜観測点を示す。ノイズレベルを超えるような位相変化は認められない。

蔵王山周辺における干渉SAR解析結果
(火山噴火予知連絡会(第143回)(気象庁(2019c)))

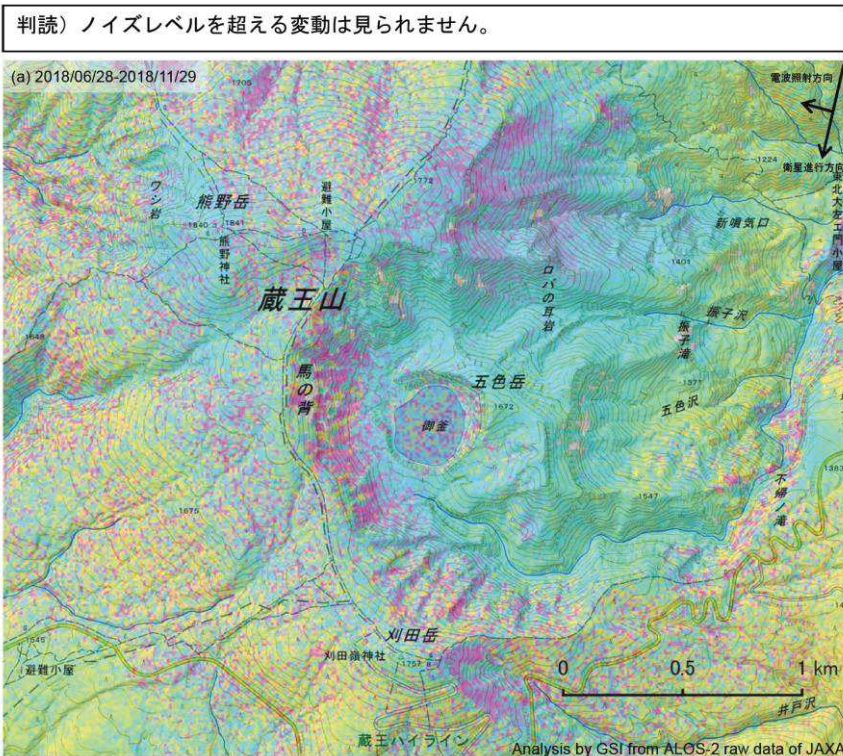
3. 原子力発電所に影響を及ぼし得る火山事象の抽出

3.1 降下火砕物の影響評価

3.1.3 シミュレーション【噴火規模の検討:蔵王山の現在の活動・地殻変動⑥】

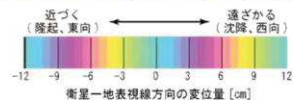
【地殻変動:2011年東北地方太平洋沖地震以降】

- 火山噴火予知連絡会(第143回)(国土地理院(2019b))では、「ノイズレベルを超える変動は見られません」とされている。



衛星名	(a) ALOS-2
観測日時	2018/06/28 2018/11/29 11:42 頃 (154 日間)
衛星進行方向	南行
電波照射方向	右
観測モード*	U-U
入射角	38.4°
偏波	HH
垂直基線長	-214m

*U: 高分解能(3m)モード



蔵王山の干渉SAR解析結果
(火山噴火予知連絡会(第143回)(国土地理院(2019b)))

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

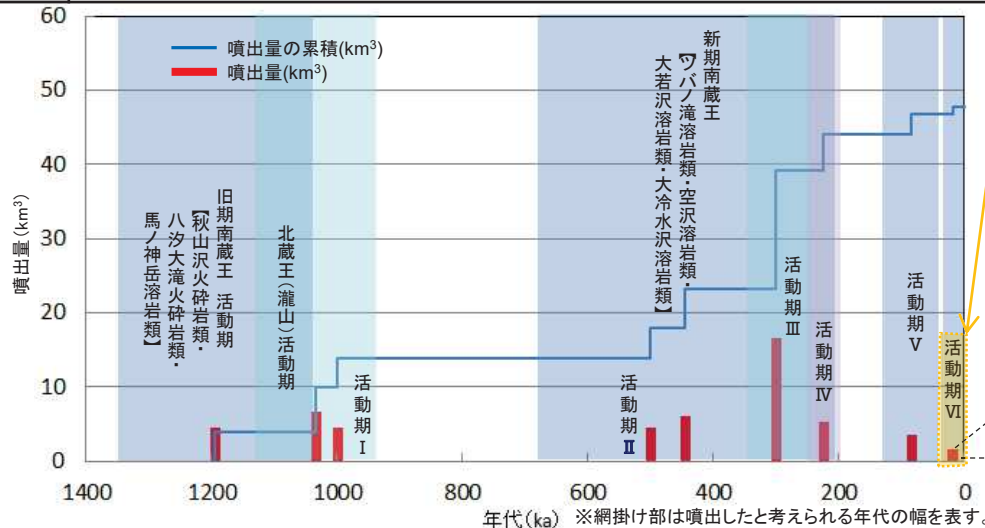
3.1.3 シミュレーション【噴火規模の検討：蔵王山のまとめ】

活動履歴 (噴火ステージ)	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 伴ほか(2015)では、活動期VI(御釜-五色岳火山体)とされている。
地下構造	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 前原ほか(2010)によれば、蔵王山の直下約20kmにメルト(マグマ)と考えられる低比抵抗体の存在が示唆される。 ▶ Nakajima et al.(2001)によれば、蔵王山の直下10km付近では熱水の存在が示唆され、40km付近にはマグマの存在が示唆される。
現在の活動	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 火山噴火予知連絡会(第143回)(気象庁(2019c))では、「2013年以降、時々、火山性地震や火山性微動が発生し、地殻変動がみられるなど、火山活動が高まることがあるので、今後の火山活動の推移に注意が必要である。」とされている。
地殻変動	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 火山噴火予知連絡会(第133回)(国土地理院(2015))によれば、「蔵王山山体の広い範囲では隆起傾向を示す地殻変動が確認される。」とされている。

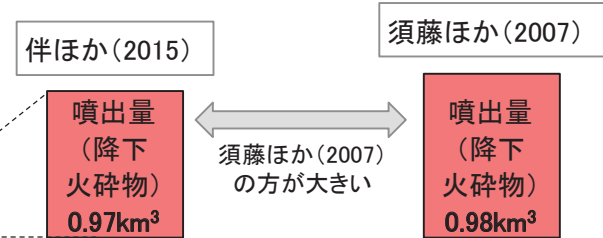
蔵王山の地下深部にはマグマの存在が示唆され、2015年に山体の広い範囲では隆起傾向を示す地殻変動が確認されたことから、全活動期間の既往最大の降下火砕物を考慮する。

↓

下図のとおり、蔵王山の既往最大の降下火砕物(蔵王川崎:Za-Kw)は、須藤ほか(2007)によれば0.98(km³)、伴ほか(2015)によればその他の降下火砕物も含めて約0.97(km³)であると報告されていることから、蔵王山の降下火砕物シミュレーションに用いる噴出量は0.98(km³)とする。



降下火砕物を伴う
既往最大の噴火を考慮

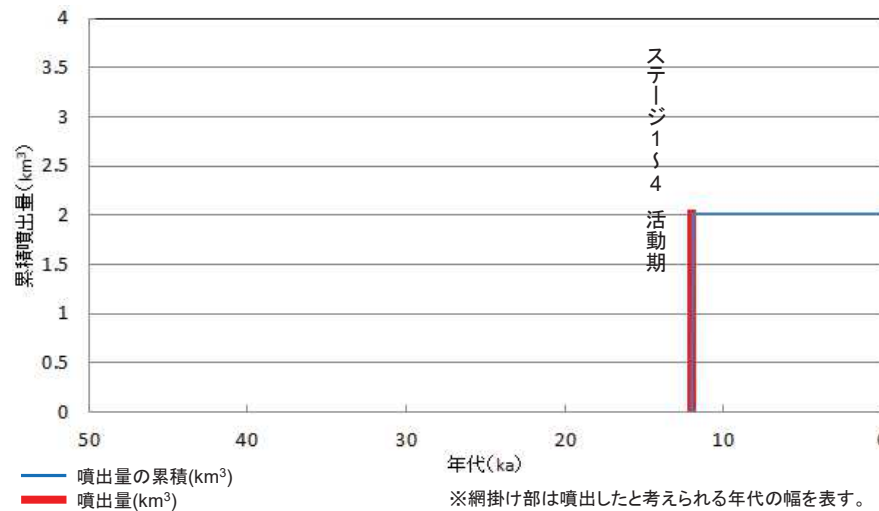


蔵王山の噴出量-年代階段ダイヤグラム

概要の表及び噴出量-年代階段ダイヤグラムは、伴ほか(2015)及び酒寄(1985)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。

3.1.3 シミュレーション 【噴火規模の検討：肘折カルデラの活動履歴・噴火ステージ】

- 肘折カルデラについて、現在の噴火ステージに言及している文献はない。
- 宮城(2007)によると、肘折カルデラの活動は短時間で活動のピークを迎え、火砕流と降下軽石を放出する爆発的なマグマ噴火によって唐突に始まったと考えられている。



肘折カルデラの噴出量一年代階段ダイヤグラム
(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)

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 【噴火規模の検討: 肘折カルデラの地下構造】

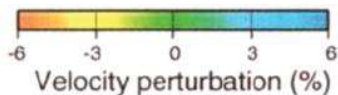
Nakajima et al.(2001)では、地震波トモグラフィにより、東北地方の深部地下構造の検討を行っている。

- 肘折カルデラの直下には、Vp、Vsとも比較的低い領域が確認され、25km以深ではVp/Vsも低い傾向が示されていることから、マグマの存在が示唆される。

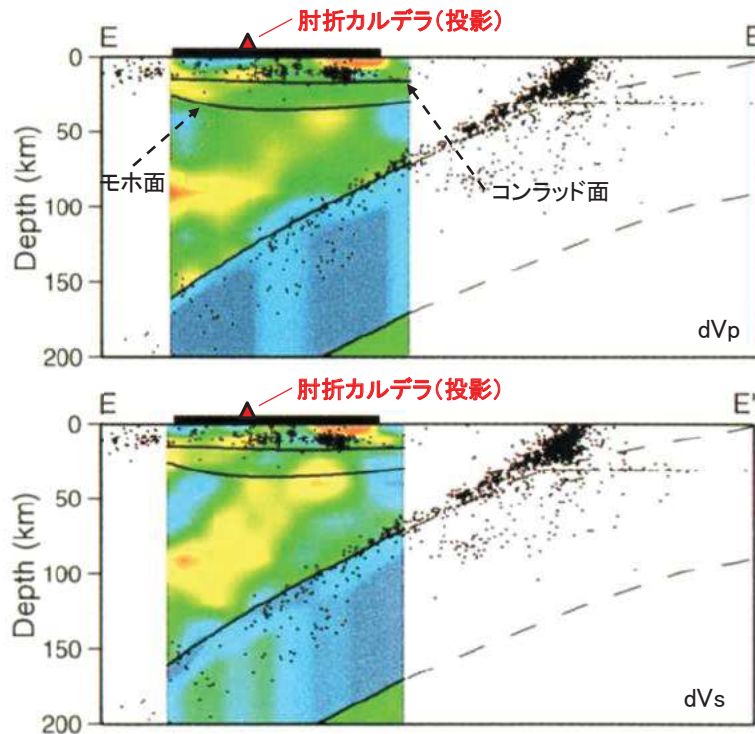


測線位置図

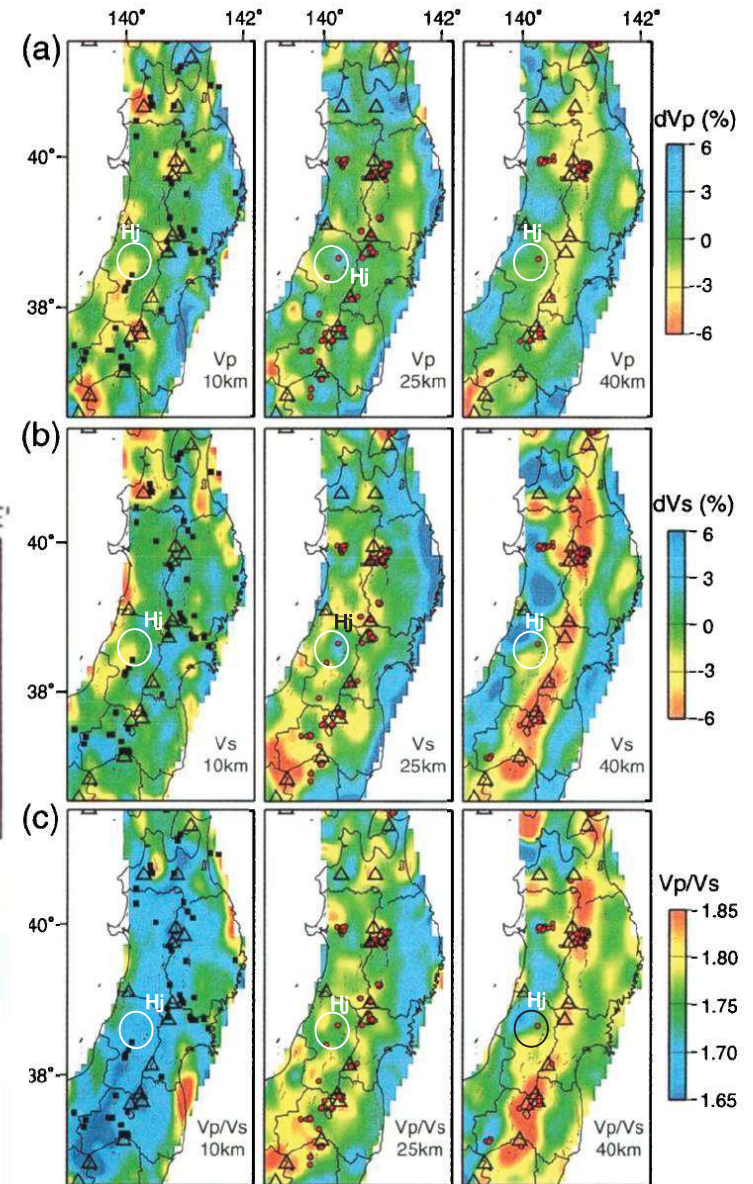
(Nakajima et al.(2001)に加筆)



投影距離: 約10km



速度層鉛直断面図(Nakajima et al.(2001)に加筆)



速度層水平断面図

(Nakajima et al.(2001)に一部加筆)

【現在の活動】

- 肘折カルデラについて、火山噴火予知連絡会(第143回)(気象庁(2019a))では、「火山活動に特段の変化はなく、静穏に経過しており、噴火の兆候は認められない」とされており、火山噴火予知連絡会(第143回)(国土地理院(2019a))でも「ノイズレベルを超える変動はみられません」とされている。
- また、肘折カルデラ付近を震源とする地震は少なく、噴気などの異常に関する通報もされていない。

【地殻変動①】

- 気象研究所技術報告第69号(安藤(2013))では、国内の火山周辺における干渉解析結果を示し、地殻変動(位相変化)が認められる火山について報告しているものの、肘折カルデラは報告されていない。

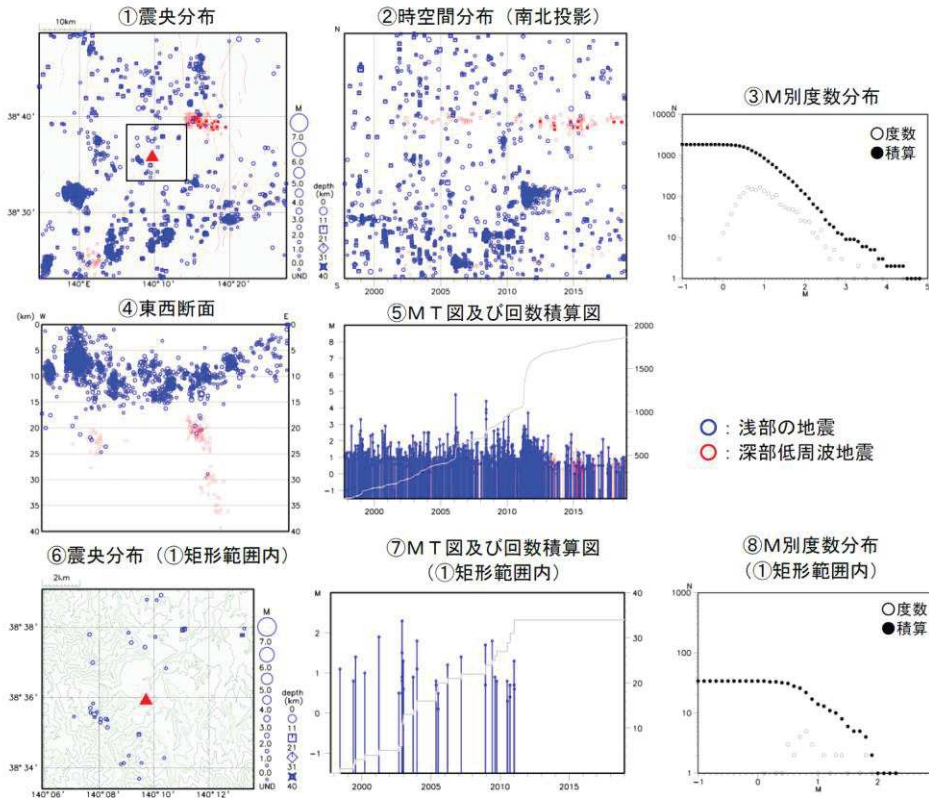
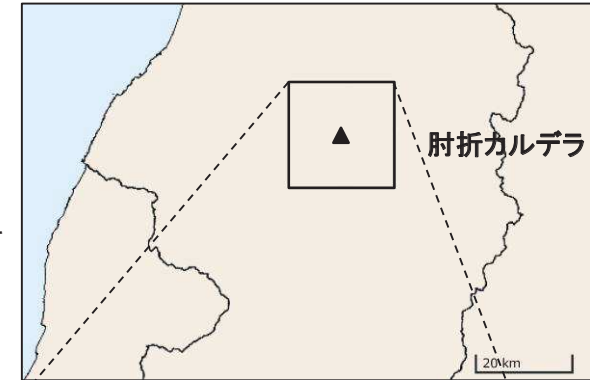


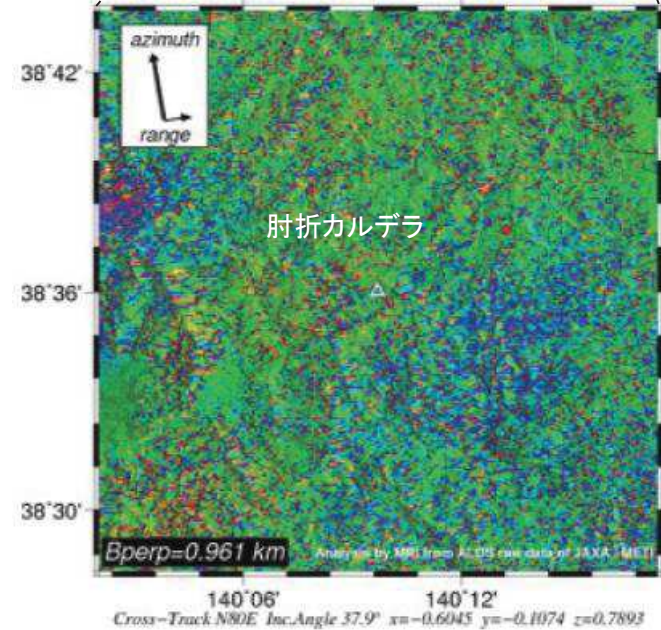
図1 肘折 一元化震源による肘折周辺の地震活動(1997年10月~2018年12月31日)

注) 2001年10月以降、検知能力向上
この図の作成にあたっては、国土地理院発行の「数値地図25000(地図画像)」、「数値地図50mメッシュ(標高)」を使用した。
・表示している震源には、震源決定時の計算誤差の大きなものが表示されることがある。

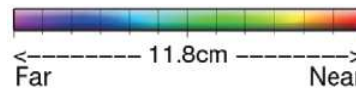
(火山噴火予知連絡会(第143回)(気象庁(2019a)))



2007/09/09-2010/09/17
1104 days



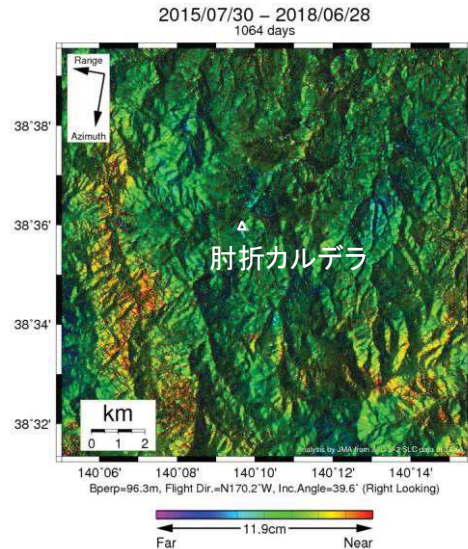
● : GPS観測点(国土地理院)



肘折カルデラ周辺における干渉SAR解析結果
(気象研究所技術報告第69号(安藤(2013)))に加筆)

【地殻変動②】

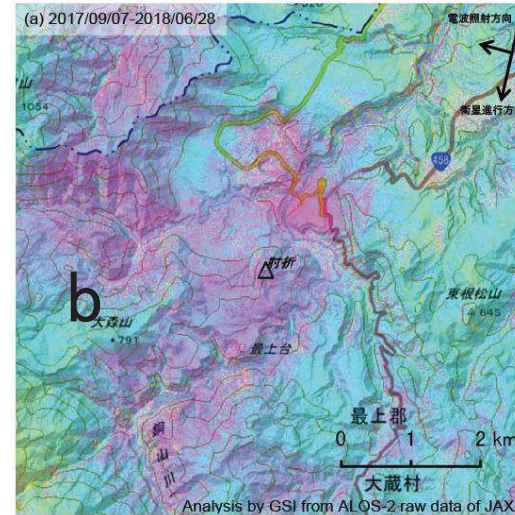
- 火山噴火予知連絡会(第143回)(気象庁(2019b))では、「ノイズレベルを超えるような位相変化は認められない。」とされており、火山噴火予知連絡会(第143回)(国土地理院(2019a))では、「ノイズレベルを超える変動は見られません」とされている。



肘折周辺の干渉SAR解析結果

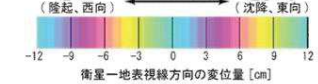
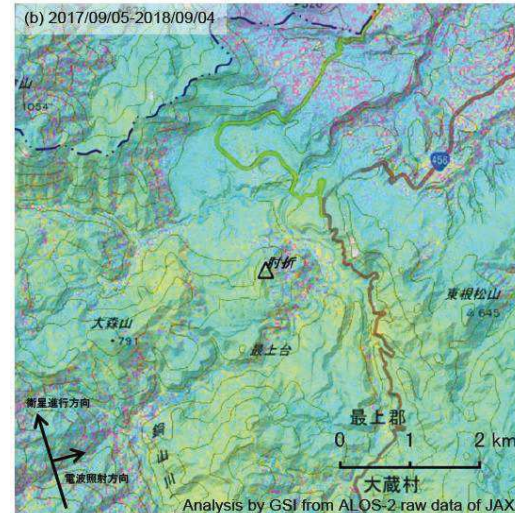
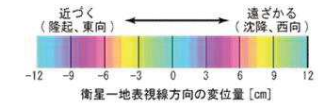
(火山噴火予知連絡会(第143回)(気象庁(2019b))に一部加筆)

判読) ノイズレベルを超える変動は見られません。



衛星名	(a)	(b)
衛星名	ALOS-2	ALOS-2
観測日時	2017/09/07 2018/06/28 11:42 頃 (294 日間)	2017/09/05 2018/09/04 23:31 頃 (364 日間)
衛星進行方向	南行	北行
電波照射方向	右	右
観測モード*	U-U	H-H
入射角	40.4°	34.4°
偏波	HH	HH
垂直基線長	+279 m	+31m

*U: 高分解能(3m)モード
H: 高分解能(6m)モード



背景: 地理院地図 標準地図・陰影起伏図・傾斜量図

肘折の干渉SAR解析結果

(火山噴火予知連絡会(第143回)(国土地理院(2019a)))

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

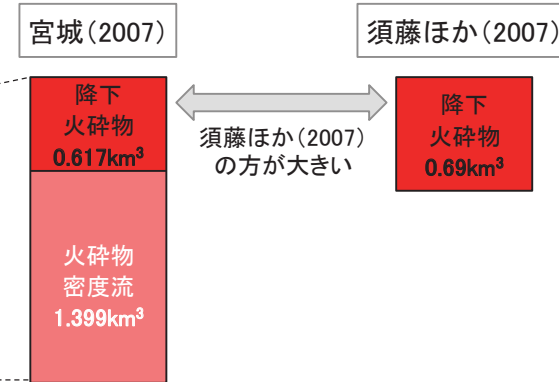
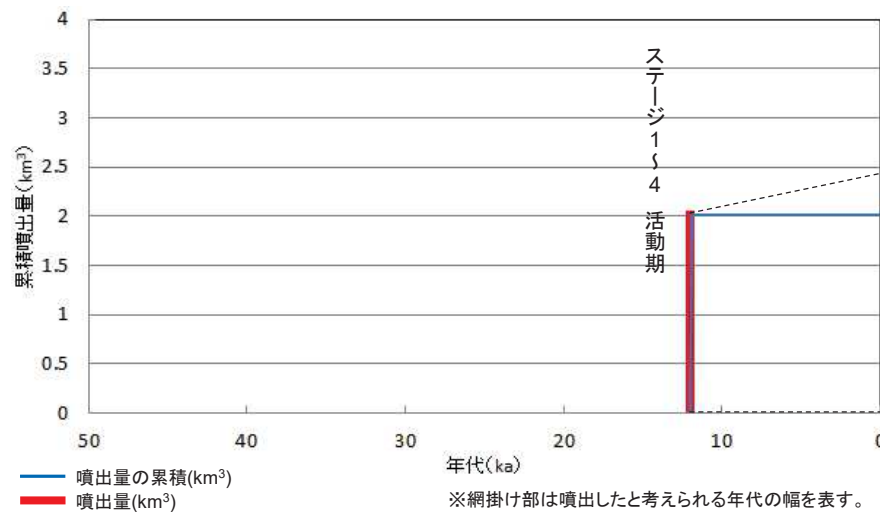
3. 1. 3 シミュレーション 【噴火規模の検討：肘折カルデラのまとめ】

活動履歴 (噴火ステージ)	➢ 肘折カルデラの現在の噴火ステージを論じた文献はなく、噴火ステージは不明である。
地下構造	➢ Nakajima et al.(2001)によれば、肘折カルデラの直下25km以深にはマグマの存在が示唆される。
現在の活動	➢ 火山噴火予知連絡会(第143回)(気象庁(2019a))では、「火山活動に特段の変化はなく、静穏に経過しており、噴火の兆候は認められない。」とされている。 ➢ 肘折カルデラ付近を震源とする地震は少なく、噴気などの異常に関する通報はされていない。
地殻変動	➢ 気象研究所技術報告第69号(安藤(2013))では、地殻変動(位相変化)が認められる火山として肘折カルデラは報告されていない。

肘折カルデラは、静穏に経過しており、噴火の兆候は認められないが、地下深部にはマグマの存在が示唆されることから、全活動期間の既往最大の降下火砕物を考慮する。



肘折カルデラは約12,000年前の噴火のみが確認されており、その際の降下火砕物(肘折尾花沢:Hj-O)は、宮城(2007)によれば約0.617(km³)、須藤ほか(2007)によれば0.69(km³)であると報告されていることから、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は0.69(km³)とする。



肘折カルデラの噴出量一年代階段ダイアグラム
(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)

肘折カルデラの噴出量(宮城(2007)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

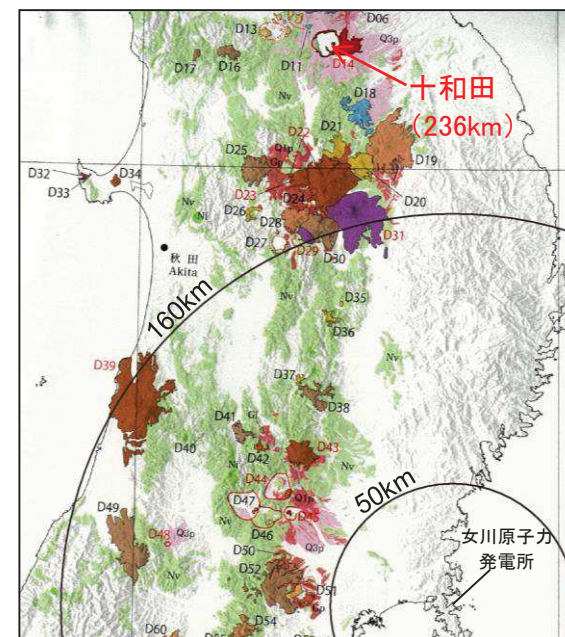
3.1.3 シミュレーション【噴火規模の検討：十和田の活動性①】

十和田の概要(中野ほか編(2013), 気象庁編(2013))

火山名	十和田	概要	先カルデラ成層火山群, 十和田カルデラ及び後カルデラ成層火山・溶岩ドームからなる。
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～AD915年		

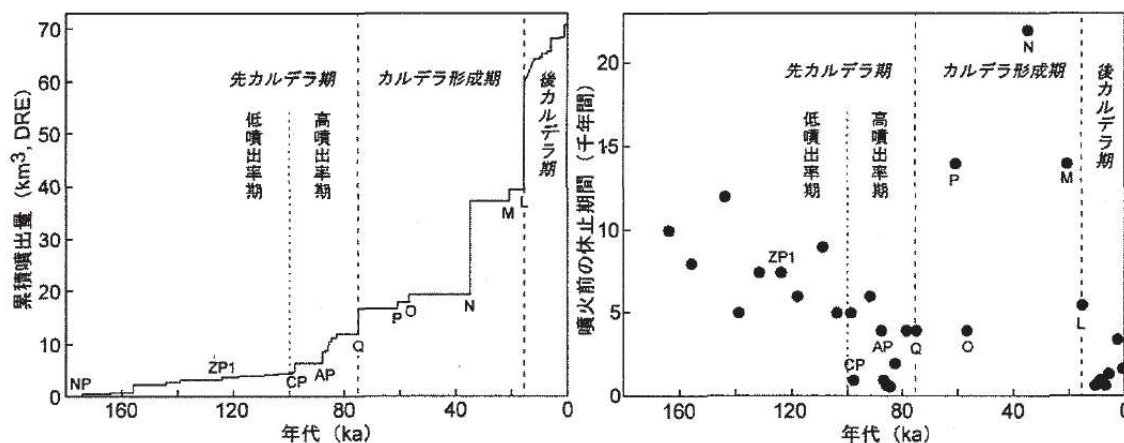
工藤ほか(2011)によれば, 十和田の活動性について以下の内容が述べられている。

- 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)の「カルデラ形成を伴う大規模噴火」は, 2018年3月7日原子力規制委員会資料「原子力発電所の火山影響評価ガイドにおける「設計対応不可能な火山事象を伴う火山活動の評価」に関する基本的な考え方について」で定義されている「巨大噴火」に相当する。



(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

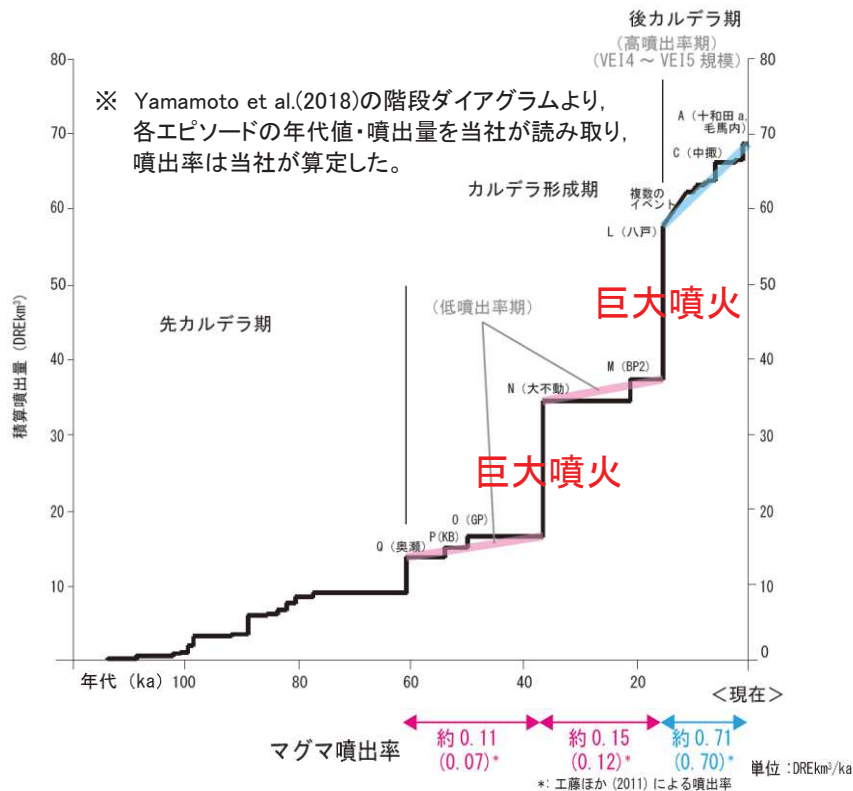
3. 原子力発電所に影響を及ぼし得る火山事象の抽出

3.1 降下火砕物の影響評価

3.1.3 シミュレーション 【噴火規模の検討: 十和田の活動性②】

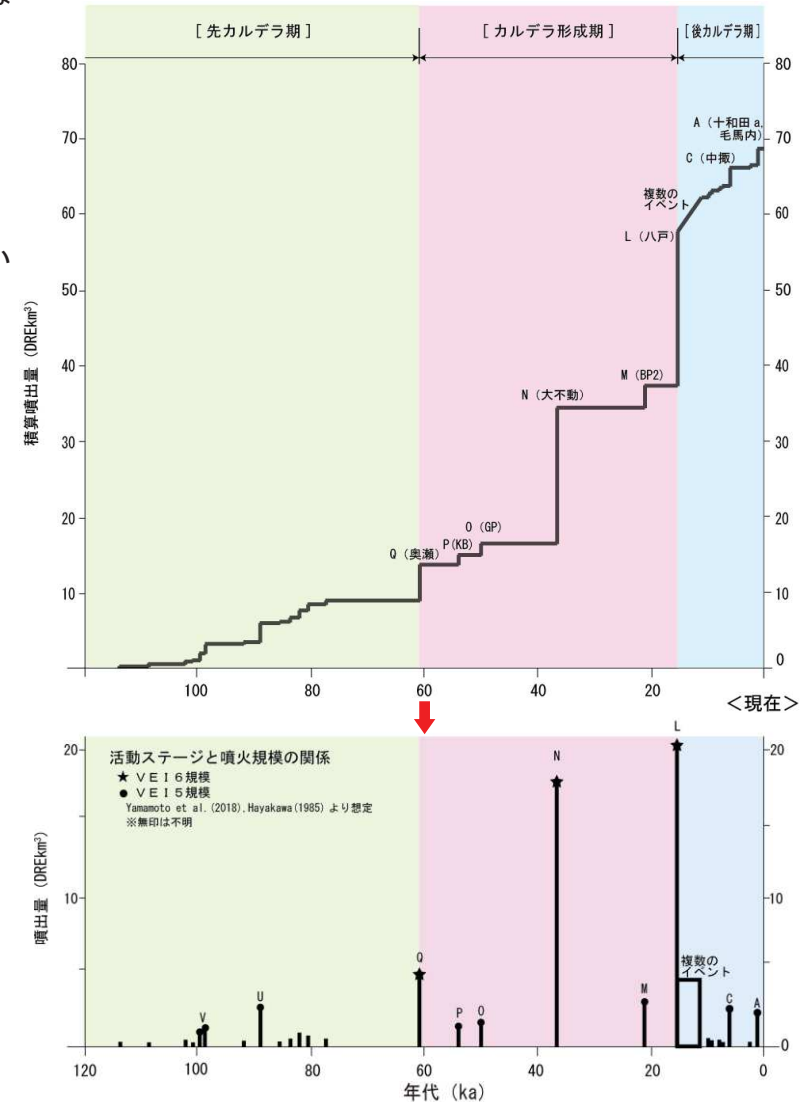
- Yamamoto et al.(2018)において、新たな階段ダイアグラムが示されているが、巨大噴火の可能性についての言及はない。これについて、Yamamoto et al.(2018)の階段ダイアグラムに基づき噴出率の傾向を確認した結果、巨大噴火前の低噴出率期(噴火エピソードNの前は約0.11km³/千年、噴火エピソードLの前は約0.15km³/千年)が先行し、後カルデラ期は高噴出率期(約0.71km³/千年)である。
- 工藤ほか(2011)によると、巨大噴火前には数万年間の低噴出率期 (N(大不動)の前は0.07km³/千年、L(八戸)の前は0.12km³/千年)が先行する傾向が見られるとし、一方、後カルデラ期は高噴出率(約0.70km³/千年)であること等から、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ており、Yamamoto et al.(2018)の知見を踏まえても、大きく変更されることはないことを確認した。

現在は、後カルデラ期の高噴出率期(0.70km³/千年)であり、巨大噴火の可能性は十分小さいことから、巨大噴火以降(後カルデラ期)の最大規模の噴火を考慮することとする。



十和田の階段ダイアグラム

Yamamoto et al.(2018)の階段ダイアグラムより、各エピソードの年代値・噴出量を読み取り当社が作成



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【噴火規模の検討】

- 鳴子カルデラ, 蔵王山, 肘折カルデラ及び十和田の①活動履歴, ②地下構造, ③現在の活動及び④地殻変動を検討した結果は, 下の表のとおりである。
- これらの結果を踏まえ, 降下火砕物のシミュレーションに用いる噴出量と噴煙柱高度を設定した。

	鳴子カルデラ	蔵王山	肘折カルデラ	十和田
①活動履歴 (噴火ステージ)	「後カルデラ期」と判断される。	活動期IV(御釜一五色岳火山体)である。	噴火ステージは不明である。	現在は, 後カルデラ期の高噴出率期(0.70km ³ /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。
②地下構造	地下深部にはマグマの存在が示唆される。	地下深部にはマグマの存在が示唆される。	地下深部にはマグマの存在が示唆される。	
③現在の活動	噴火の兆候は認められない。	噴火の兆候は認められない。	噴火の兆候は認められない。	
	火山性地震は少ない。	火山性地震は少ない。	火山性地震は少ない。	
	噴気などの異常通報なし。	噴気などの異常通報なし。	噴気などの異常通報なし。	
④地殻変動	鳴子カルデラ周辺は2011年東北地方太平洋沖地震以降, わずかに沈降傾向が確認される。	蔵王山山体の広い範囲では隆起傾向の地殻変動が確認される。	地殻変動は報告されていない。	

考慮すべき噴火規模	全活動期間の既往最大の降下火砕物	全活動期間の既往最大の降下火砕物	全活動期間の既往最大の降下火砕物	後カルデラ期の最大の降下火砕物
	↓	↓	↓	↓
噴出量	2.86km ³	0.98km ³	0.69km ³	6.68km ³ ※1
噴煙柱高度※2	25km	25km	25km	25km

※1 Hayakawa(1985)より設定。

※2 町田・新井(2011)に基づき, 各火山の噴出物量に対応する噴煙柱高さを設定。

3. 原子力発電所に影響を及ぼし得る火山事象の抽出

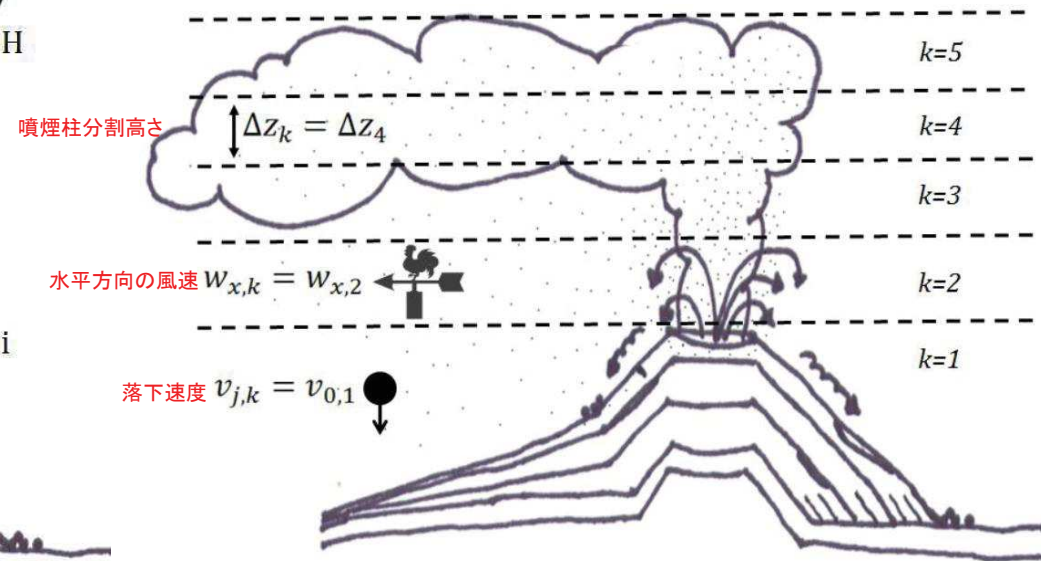
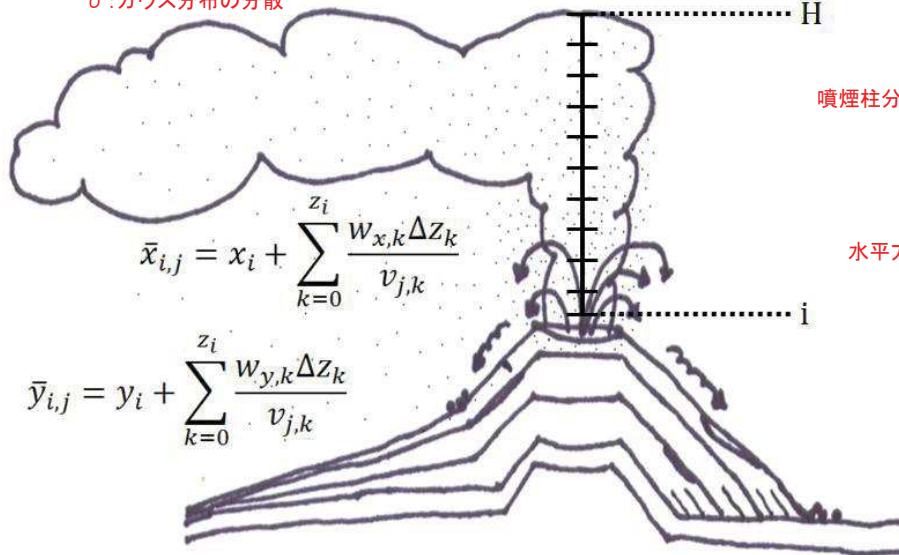
3.1 降下火砕物の影響評価

3.1.3 シミュレーション【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(p62)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 (University of South Florida (2011) に一部加筆)

降下火砕物シミュレーションのプログラムコードのバグについて

- 日本火山学会2016年秋季大会(2016.10.13~15)のポスターセッションにおいて、大阪大学の佐伯准教授が「Tephra2」のプログラムコードの粒子落下速度の式に一部バグがあることを発表。
- この発表内容を受け、当社も「Tephra2」のプログラムコードを確認したところ、同准教授が指摘したバグがあることを確認。
- このプログラムコードのバグを当社独自に修正し、再解析を行うとともに、修正したプログラムコードの妥当性を確認するため、国立研究開発法人 産業技術総合研究所のHP上(G-ever)の「Tephra2」を用いた解析を行い、それぞれの結果を比較した。

プログラムコードのバグの概要

- 給源直上から放出される降下火砕物の粒子の落下速度は、粒子が落下する慣性力と大気の粘性力の比から求まる粒子のレイノルズ数に応じて、以下に示す原理式を用いて算出している。今回、この原理式に基づくプログラムコードの一部にバグが確認された。

粒子の落下速度(V_t)の原理式	
$V_t = \frac{gd^2(\rho_p - \rho_g)}{18\mu} \quad R_e < 6$	R_e :レイノルズ数
$V_t = \left\{ \frac{4g^2d^3(\rho_p - \rho_g)^2}{225\mu\rho_g} \right\}^{1/3} \quad 6 \leq R_e < 500$	g :重力加速度
$V_t = \left\{ \frac{3.1gd(\rho_p - \rho_g)}{\rho_g} \right\}^{1/2} \quad 500 \leq R_e$	d :粒径
$R_e = \frac{d\rho_g V_t}{\mu}$	ρ_p :粒子密度
	ρ_g :大気密度
	μ :大気の粘性

当社使用の「Tephra2」のプログラムコードの入手先

- アメリカ国立科学財団・V-HUB ホームページより2016年10月19日にver1.91(2014/9/19公開)をダウンロード
(<https://vhub.org/resources/tephra2/about>)

原理式に基づくプログラムコードの修正箇所

```

バグ修正前 temp1 = GRAV_SQRD_x_4 * part_density * part_density / AIR_VISCOSITY_x_225 * rho;
             vti = ashdiam * pow(temp1, ONE_THIRD);

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



※バグ修正の詳細については、
補足説明資料(p56-60)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

3.1.3 シミュレーション【入力パラメータ】

➤ 鳴子カルデラ, 蔵王山, 肘折カルデラ及び十和田の降下火砕物のシミュレーションに用いるパラメータは下表の赤枠に示す数値である。

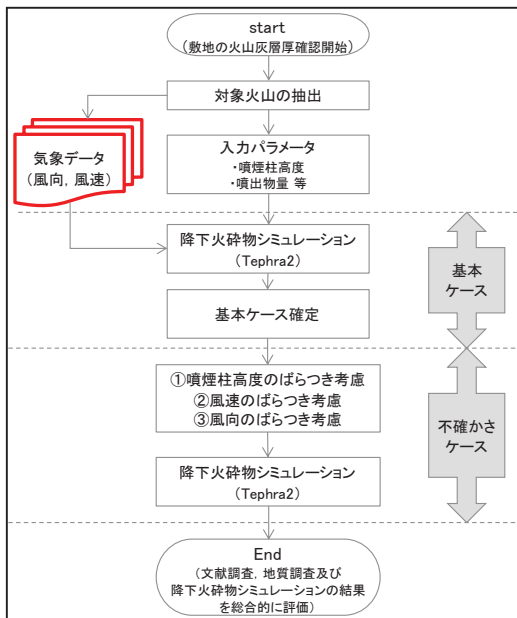
項目	単位	鳴子 カルデラ	蔵王山	肘折 カルデラ	十和田	設定根拠
噴出量(みかけ体積)	km ³	2.86	0.98	0.69	6.68	鳴子カルデラ: 自社調査結果より設定。 蔵王山, 肘折カルデラ: 須藤ほか(2007)より設定。 十和田: Hayakawa(1985)より設定。
噴出量(DRE体積)	km ³	1.15	0.40	0.28	1.61	みかけ体積に溶岩密度と降下火砕物密度を用いて設定。
溶岩密度	kg/m ³	2,500	2,500	2,500	2,500	産業技術総合研究所地質調査総合センター編(2017)より設定。
降下火砕物密度	kg/m ³	1,000	1,000	1,000	600	鳴子カルデラ, 蔵王山, 肘折カルデラ: 産業技術総合研究所地質調査総合センター編(2017)より設定。 十和田: Hayakawa(1985)より設定。
噴出量(質量)	× 10 ¹² kg	2.86	0.98	0.69	4.01	みかけ体積に降下火砕物密度を乗じる。
噴煙柱高度	km	25	25	25	25	町田・新井(2011)より設定。
噴出標高	m	470	1,841	552	400	鳴子カルデラ, 蔵王山, 肘折カルデラ: 気象庁編(2013)より設定。 十和田: 中野ほか編(2013)より設定。
噴煙柱の分割数	分割数	245	231	244	246	萬年(2013)より, 噴煙柱分割高さを約100mとなるように設定。
最大粒径	mm	1/2 ⁻¹⁰	1/2 ⁻¹⁰	1/2 ⁻¹⁰	1/2 ⁻¹⁰	University of South Florida(2011)より設定。
最小粒径	mm	1/2 ¹⁰	1/2 ¹⁰	1/2 ¹⁰	1/2 ¹⁰	University of South Florida(2011)より設定。
中央粒径	mm	1/2 ^{4.5}	1/2 ^{4.5}	1/2 ^{4.5}	1/2 ^{4.5}	University of South Florida(2011)より設定。
粒径標準偏差	mm	1/2 ³	1/2 ³	1/2 ³	1/2 ³	University of South Florida(2011)より設定。
岩片密度	kg/m ³	2,600	2,600	2,600	2,600	University of South Florida(2011)より設定。
軽石粒子密度	kg/m ³	1,000	1,000	1,000	1,000	University of South Florida(2011)より設定。
渦拡散係数	m ² /s	0.04	0.04	0.04	0.04	Suzuki(1983)より設定。
拡散係数	m ² /s	300	300	300	10,000	萬年(2013)より設定。 (十和田については, 再現性の検討を踏まえて設定)
落下時間閾値	s	3600	3600	3600	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

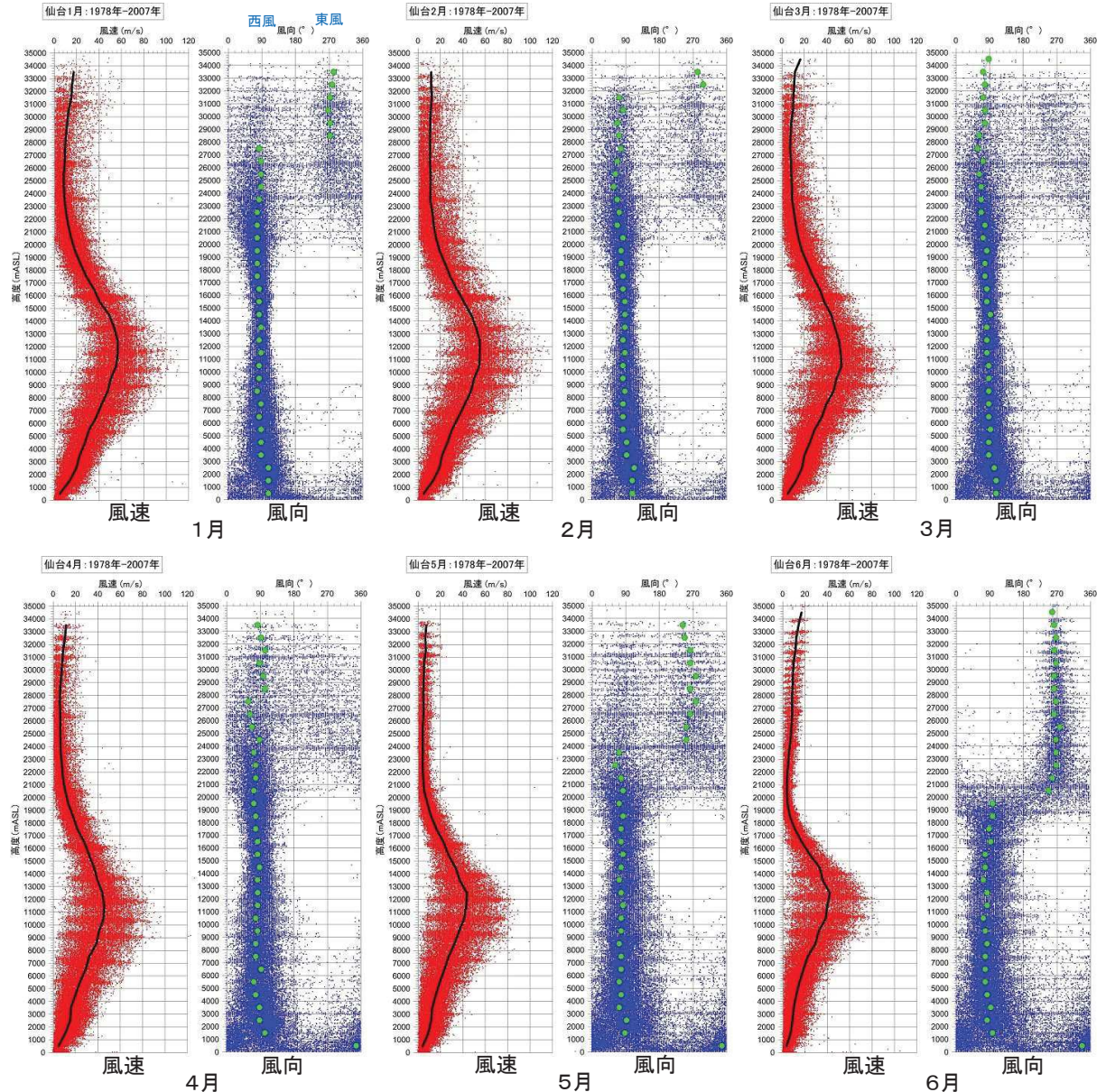
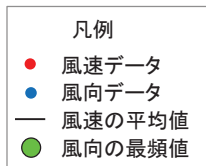
3.1 降下火砕物の影響評価

3.1.3 シミュレーション【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

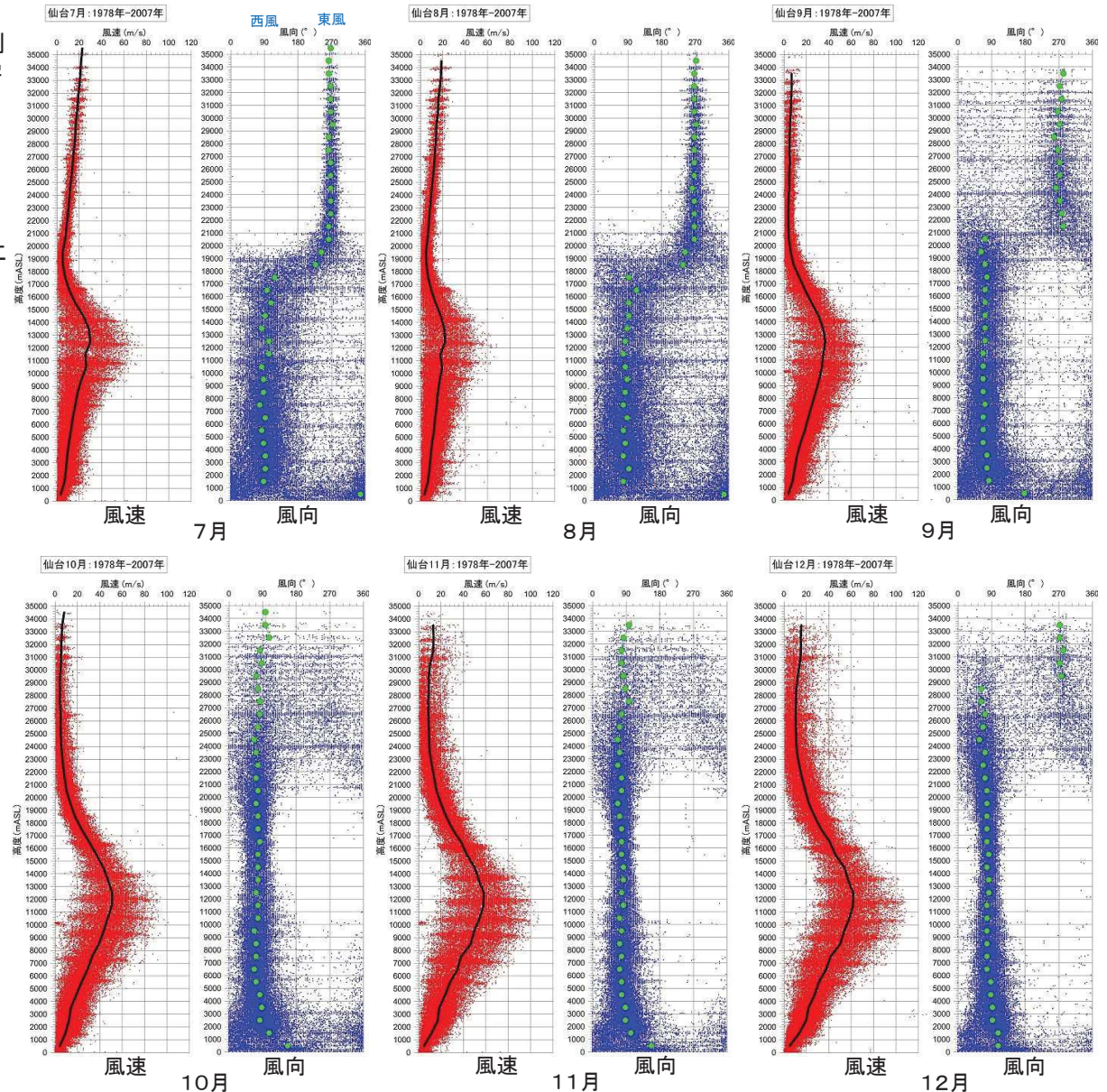
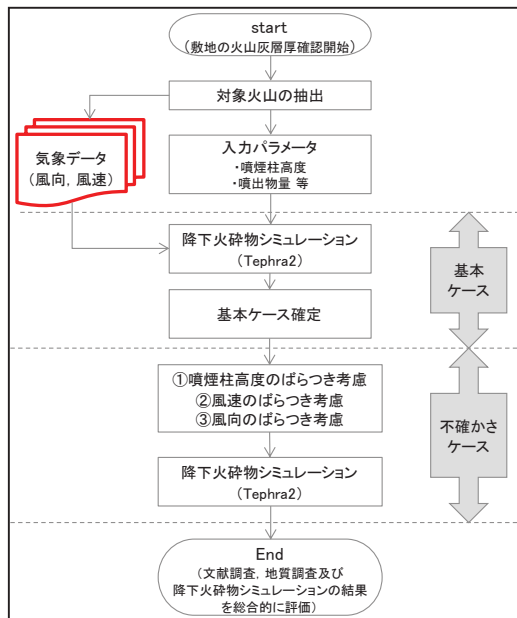


3. 原子力発電所に影響を及ぼし得る火山事象の抽出

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。

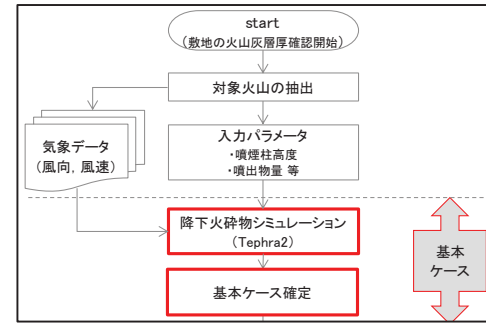


3. 原子力発電所に影響を及ぼし得る火山事象の抽出

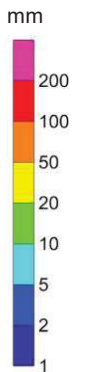
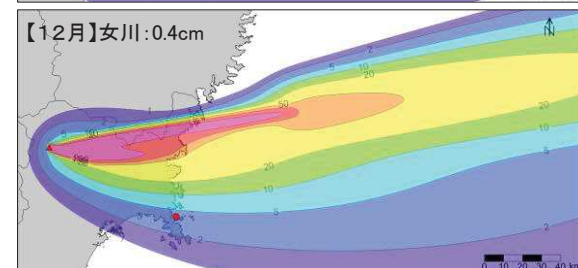
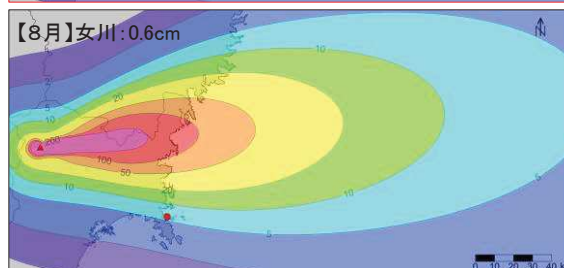
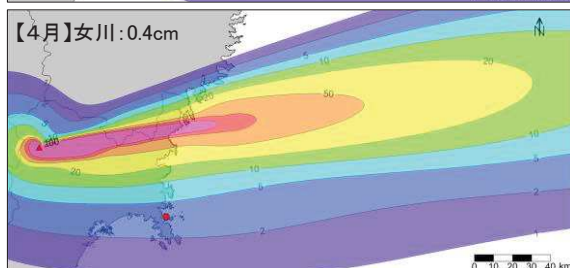
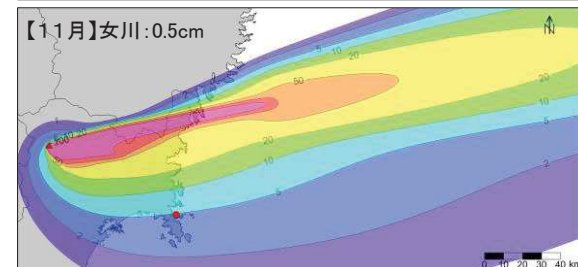
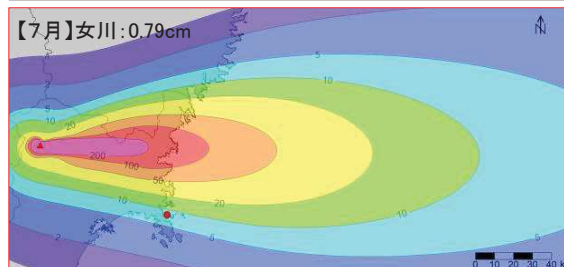
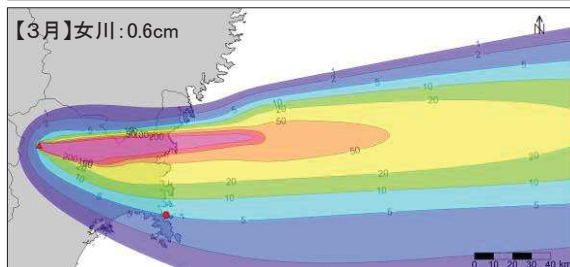
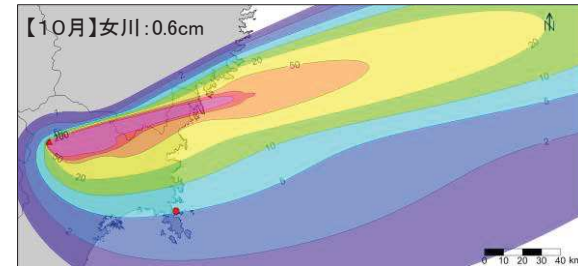
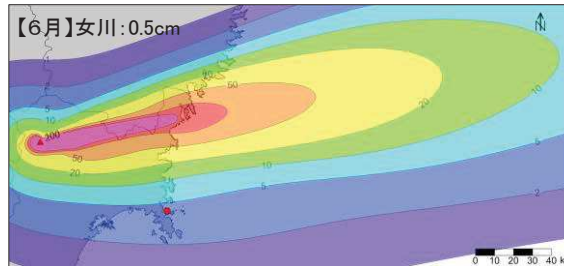
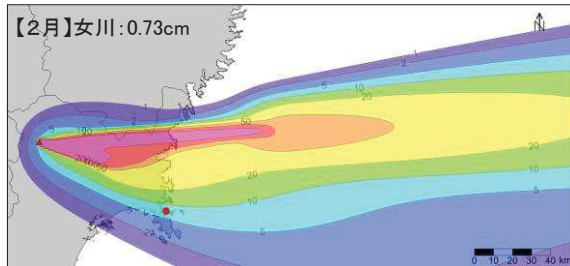
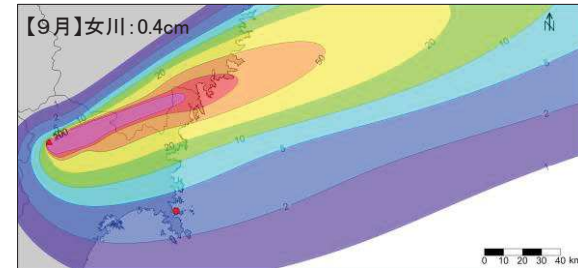
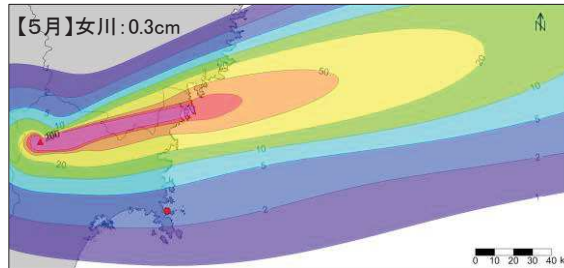
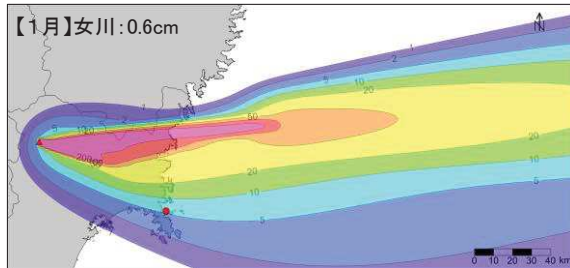
3.1 降下火砕物の影響評価

3.1.3 シミュレーション【基本ケース結果:鳴子カルデラ】

- ▶ 鳴子カルデラ(鳴子荷坂:Nr-N)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0.3~0.79cm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)

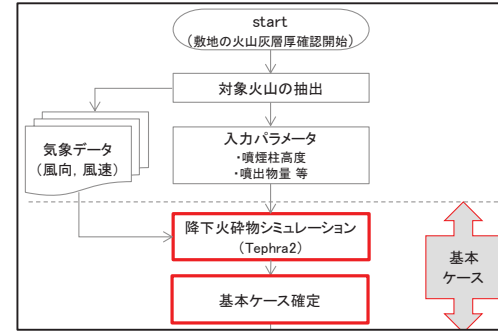


3. 原子力発電所に影響を及ぼし得る火山事象の抽出

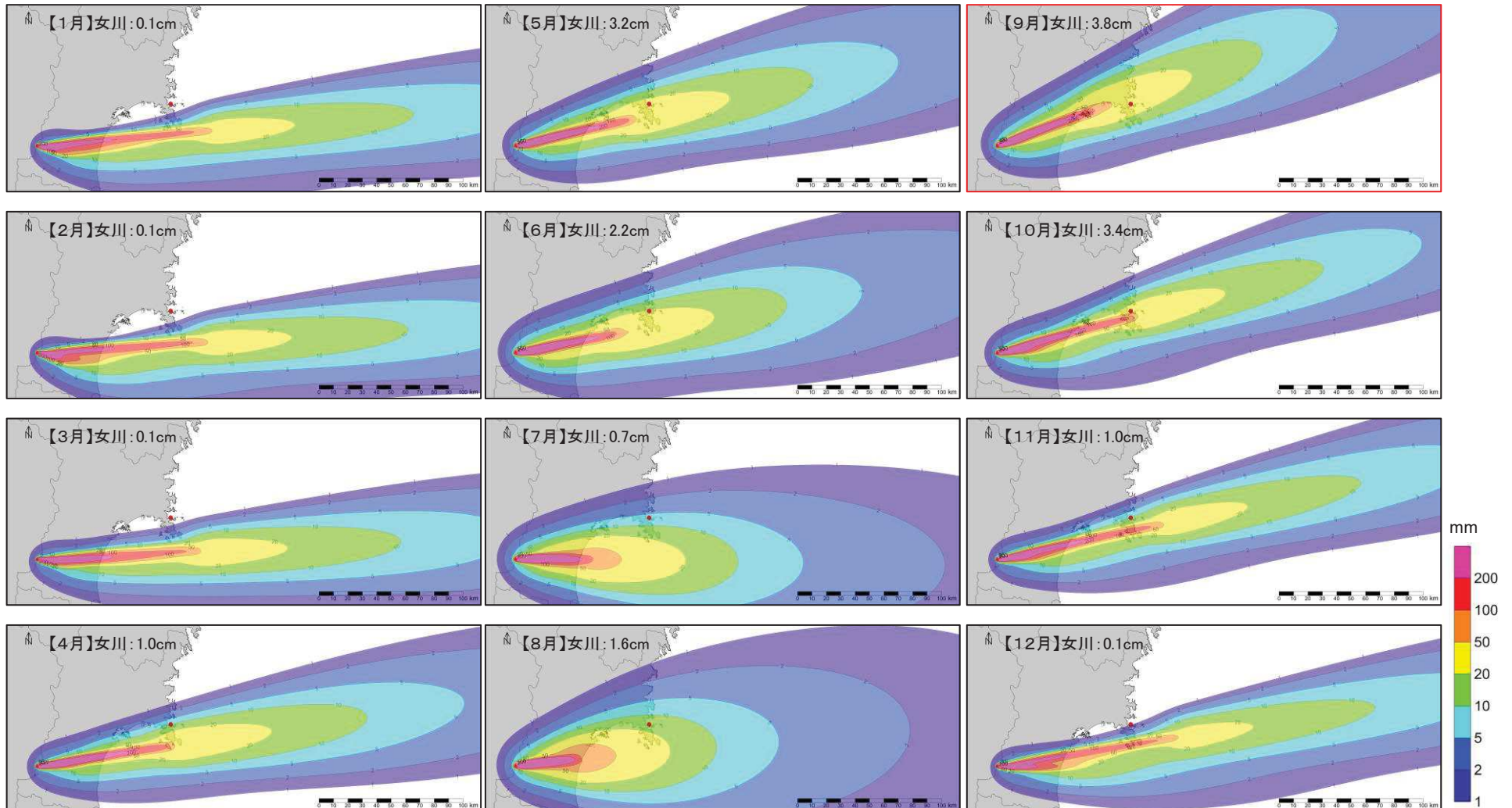
3.1 降下火砕物の影響評価

3.1.3 シミュレーション【基本ケース結果:蔵王山】

- 蔵王山(蔵王川崎:Za-Kw)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0.1~3.8cm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)

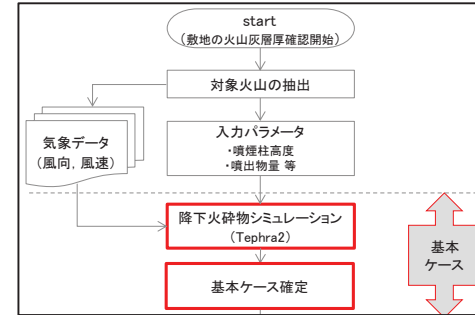


3. 原子力発電所に影響を及ぼし得る火山事象の抽出

3.1 降下火砕物の影響評価

3.1.3 シミュレーション【基本ケース結果: 肘折カルデラ】

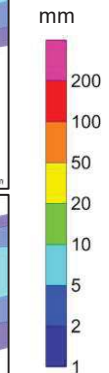
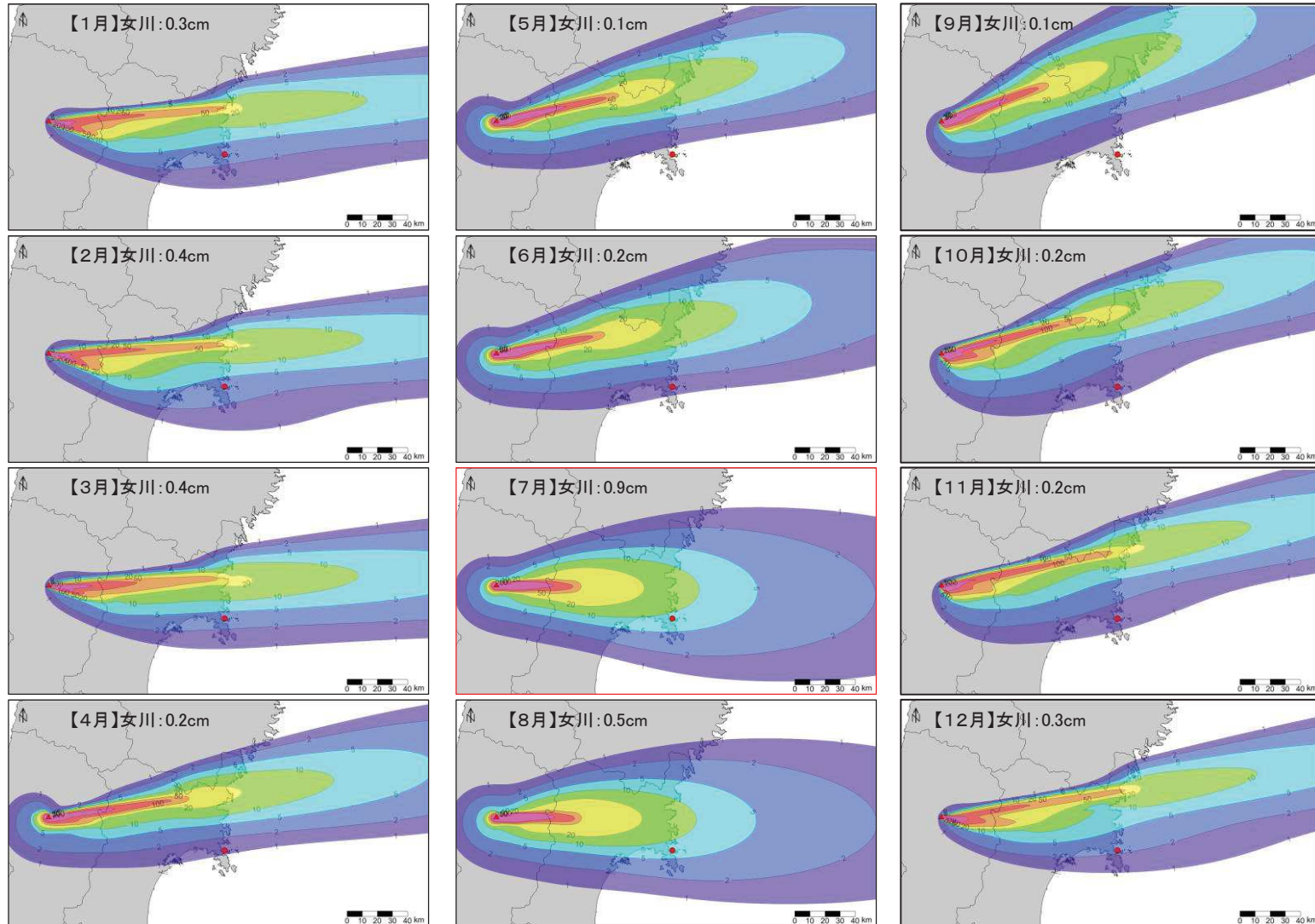
- ▶ 肘折カルデラ(肘折尾花沢:Hj-0)を対象とした降下火砕物のシミュレーションを実施した結果、敷地における火山灰の層厚は0.1~0.9cmであった。



90

第446回審査会合(H29.2.24)
資料1-1 p85 再掲

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【基本ケース結果:十和田】

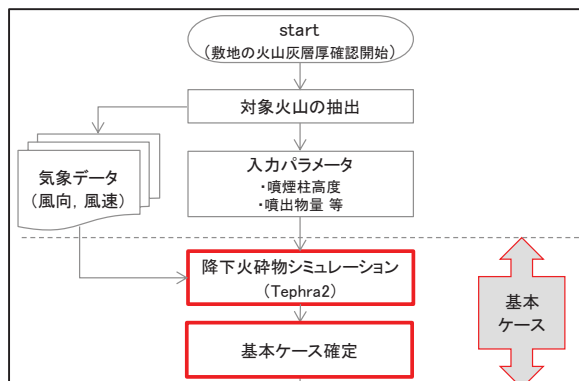
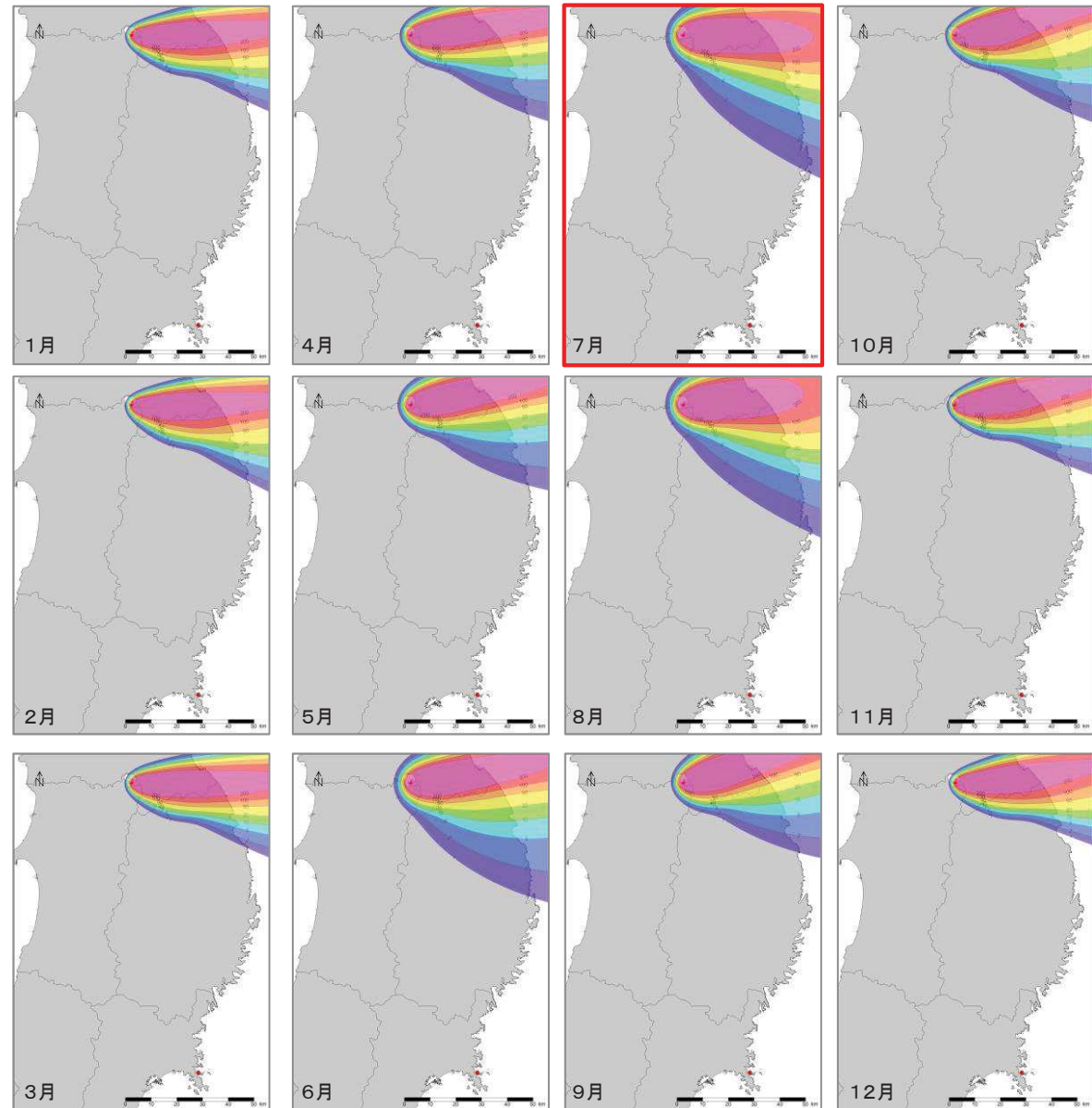
- 十和田(十和田-中楸テフラ)を対象とした降下火砕物のシミュレーションを実施した結果、敷地にはほとんど堆積しない結果となった。

6~8月の女川原子力発電所位置での層厚

6月:0.0071cm

7月:0.0099cm(最大)

8月:0.0092cm



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

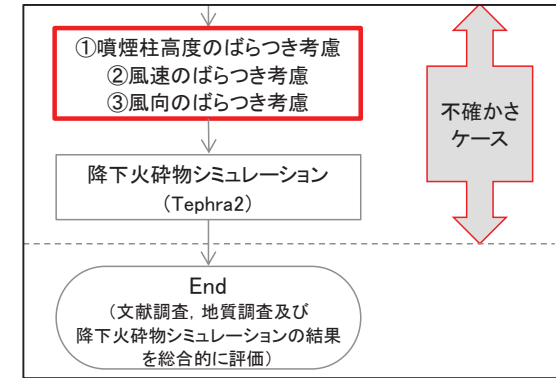
3.1.3 シミュレーション【不確かさの考慮】

- ▶ 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。
- ▶ 各火山において、基本ケースの結果で敷地層厚が最大となる月の気象データを用い、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

基本ケースで敷地層厚が最大となる月

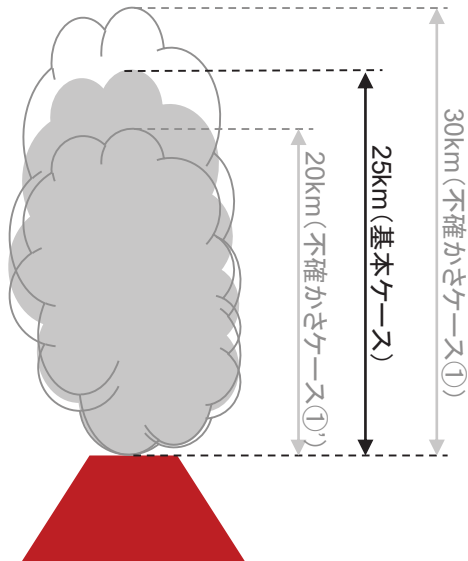
鳴子カルデラ	蔵王山	肘折カルデラ	十和田
7月	9月	7月	7月



シミュレーションを用いた降下火砕物の堆積厚確認フロー(抜粋)

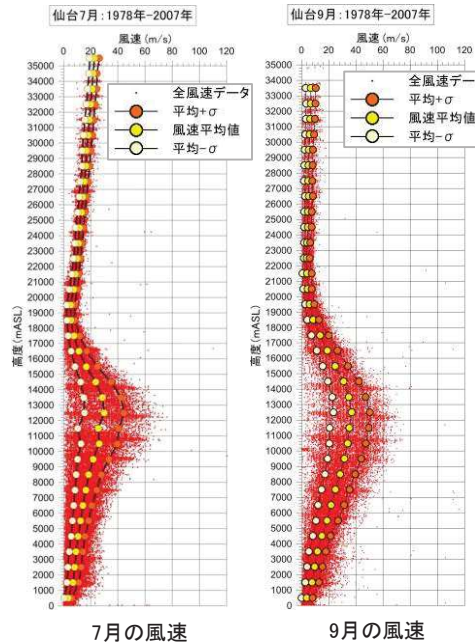
① 噴煙柱高さに関する不確かさの考慮

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



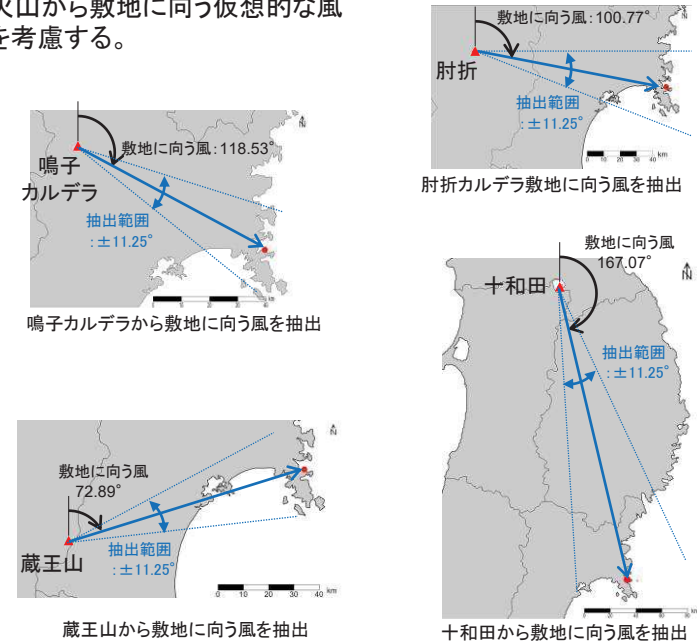
② 風速に関する不確かさの考慮

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。

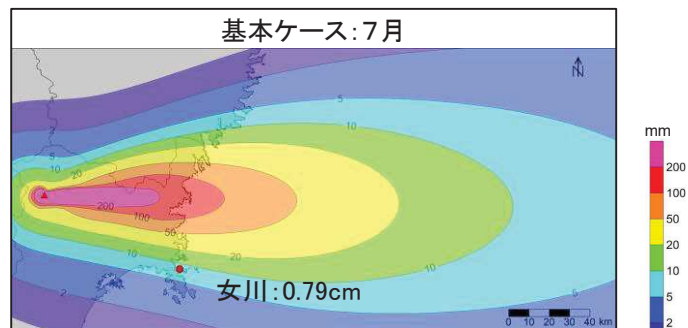


3. 原子力発電所に影響を及ぼし得る火山事象の抽出

3.1 降下火砕物の影響評価

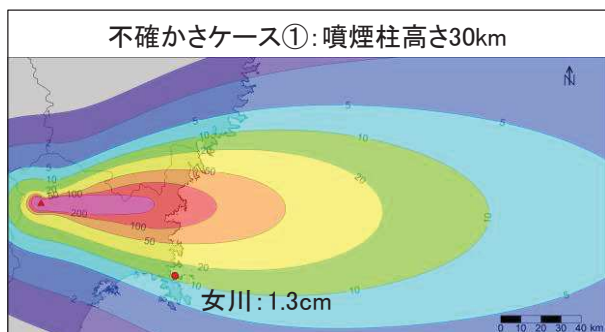
3.1.3 シミュレーション【不確かさケースの結果:鳴子カルデラ】

- 鳴子カルデラ(鳴子荷坂: Nr-N)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0.5~10.8cmであった。

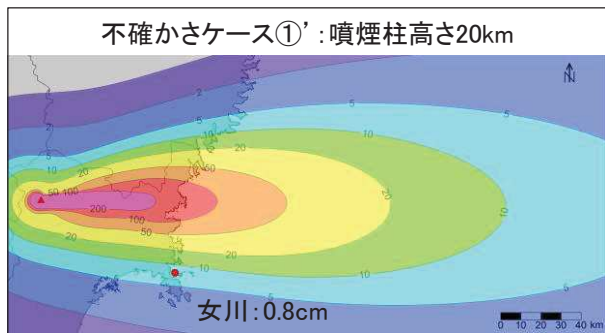


①噴煙柱高さに関する不確かさの考慮

不確かさケース①: 噴煙柱高さ30km

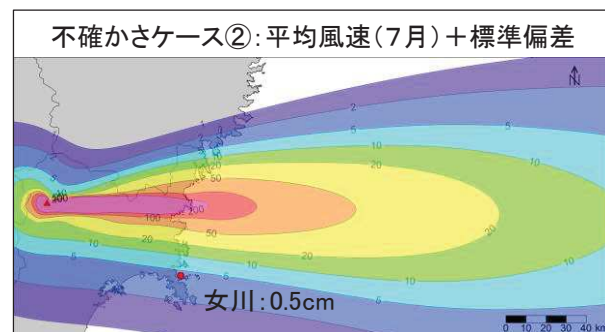


不確かさケース①': 噴煙柱高さ20km

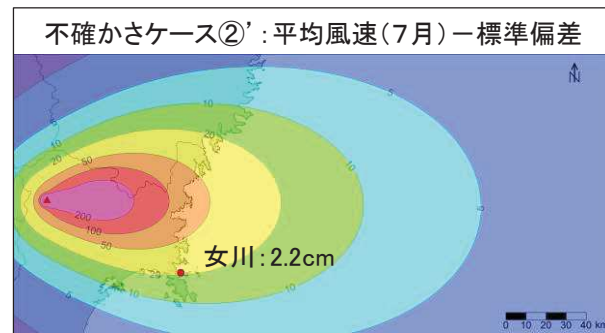


②風速に関する不確かさの考慮

不確かさケース②: 平均風速(7月)+標準偏差

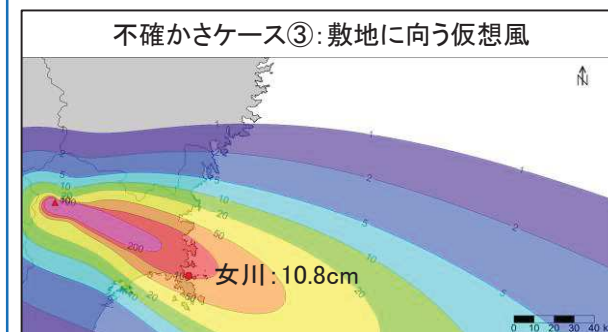


不確かさケース②': 平均風速(7月)-標準偏差



③風向に関する不確かさの考慮

不確かさケース③: 敷地に向う仮想風

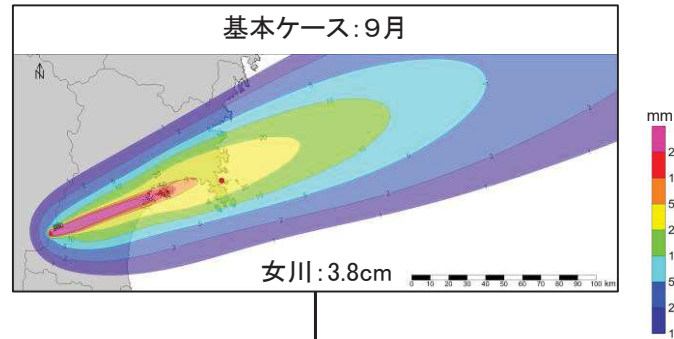


3. 原子力発電所に影響を及ぼし得る火山事象の抽出

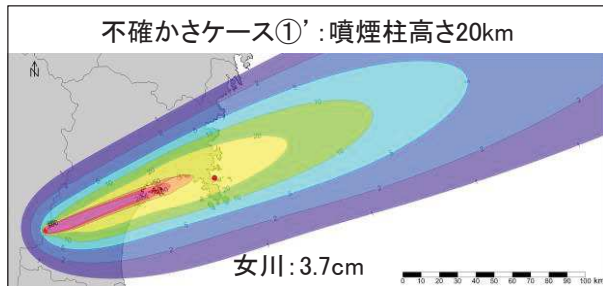
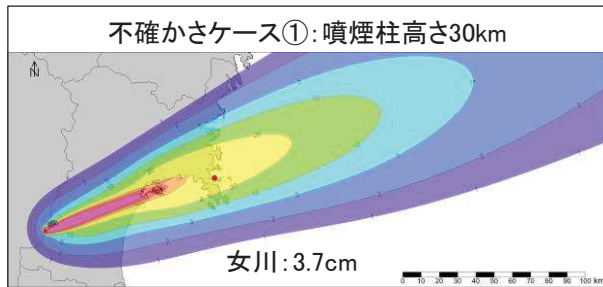
3.1 降下火砕物の影響評価

3.1.3 シミュレーション【不確かさケースの結果: 蔵王山】

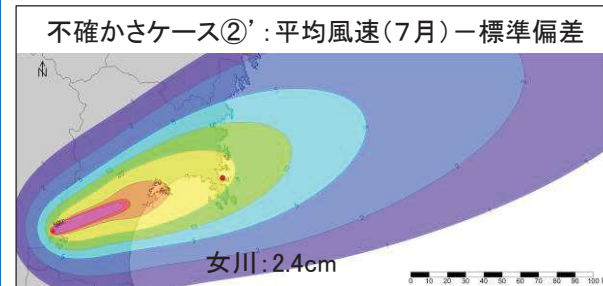
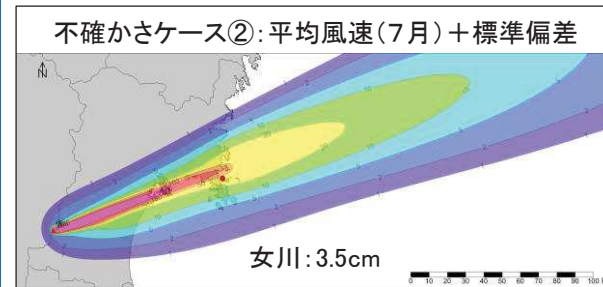
蔵王山(蔵王川崎: Za-Kw)を対象とした降下火砕物のシミュレーションを実施した結果, 敷地における火山灰の層厚は2.4~3.9cmであった。



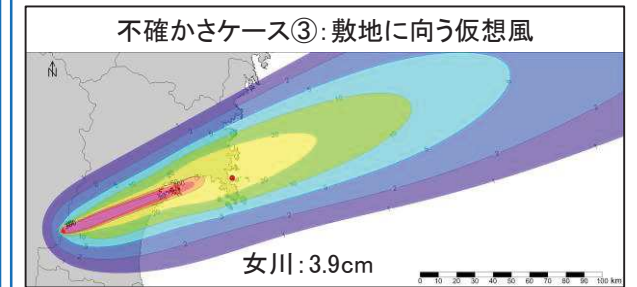
①噴煙柱高さに関する不確かさの考慮



②風速に関する不確かさの考慮



③風向に関する不確かさの考慮

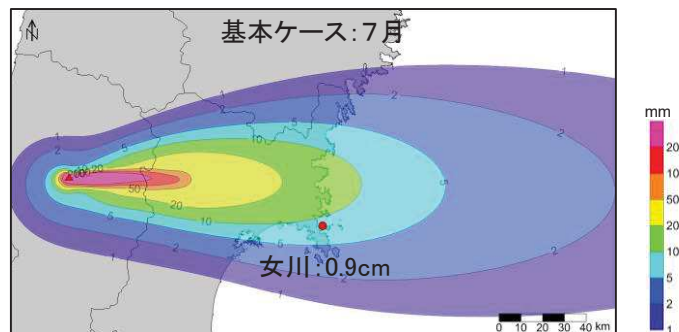


3. 原子力発電所に影響を及ぼし得る火山事象の抽出

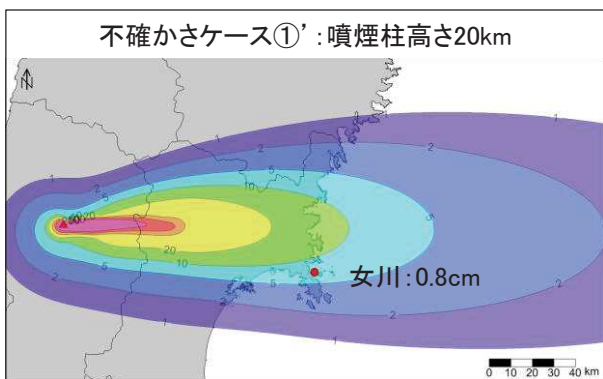
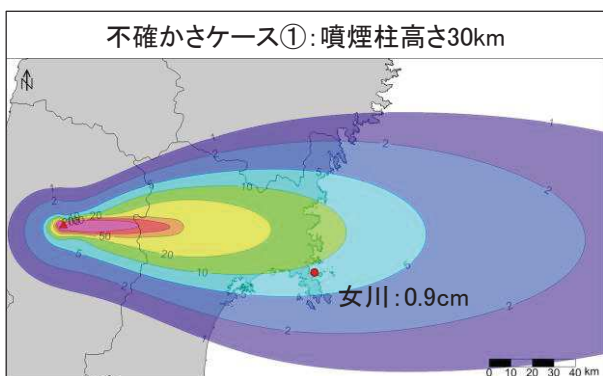
3.1 降下火砕物の影響評価

3.1.3 シミュレーション【不確かさケースの結果: 肘折カルデラ】

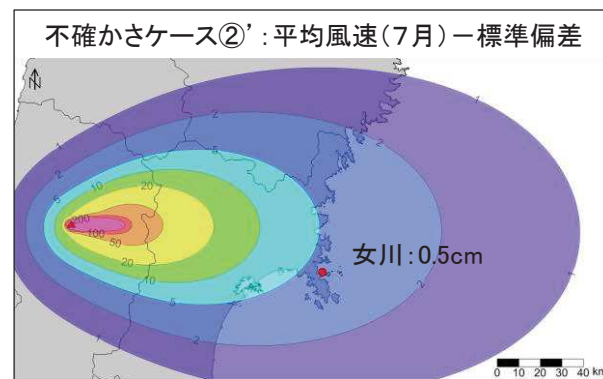
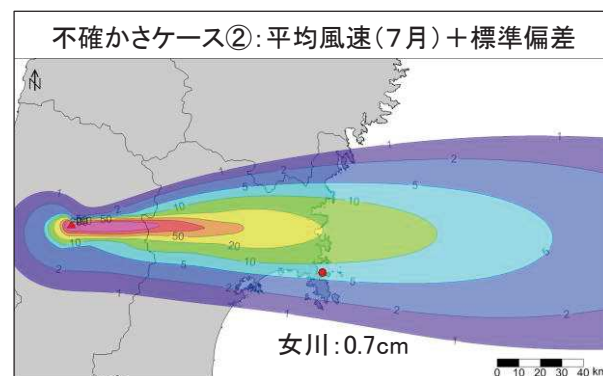
- ▶ 肘折カルデラ(肘折尾花沢:Hj-O)を対象とした降下火砕物のシミュレーションを実施した結果, 敷地における火山灰の層厚は0.5~1.5cmであった。



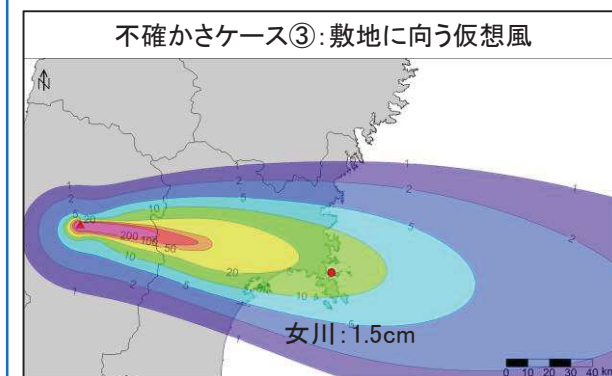
① 噴煙柱高さに関する不確かさの考慮



② 風速に関する不確かさの考慮



③ 風向に関する不確かさの考慮



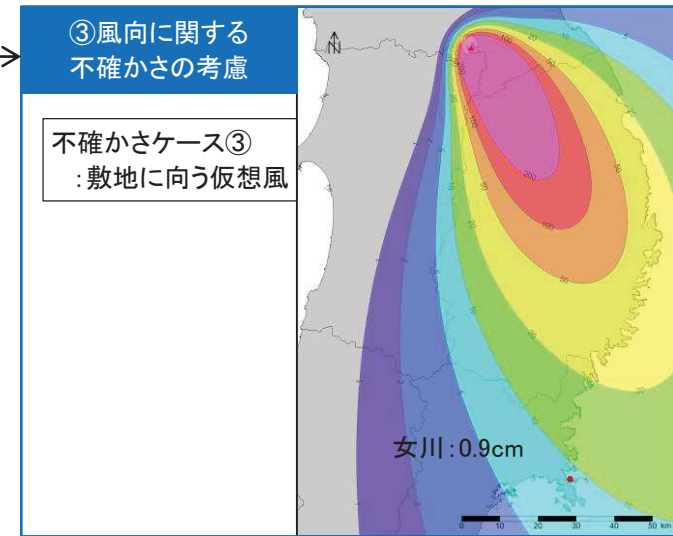
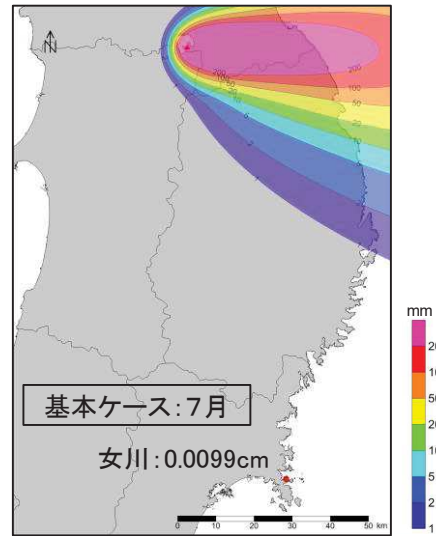
3. 原子力発電所に影響を及ぼし得る火山事象の抽出

3. 1 降下火砕物の影響評価

3. 1. 3 シミュレーション【不確かさケースの結果:十和田】

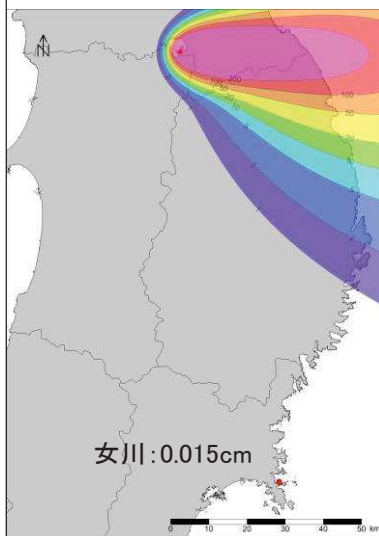
➤ 十和田(十和田中掬)を対象とした降下火砕物のシミュレーションを実施した結果、敷地における火山灰の層厚は0.001~0.9cmであった。

✓ なお、十和田の北方約22kmには北八甲田火山群(p100参照)があり、この火山を噴出源とする降下火砕物は敷地周辺において確認されていないが、十和田中掬(6.68km³)よりも規模の大きい噴火(約27万年前、甲地軽石:WP, 8.25km³)が報告されている(工藤ほか(2004))。ただし、十和田中掬の最大ケースである0.9cm(不確かさケース③:右上図参照)に対して、甲地軽石と十和田中掬の噴出量の比率(約1.3倍)を考慮し、さらに保守性を加味したとしても、敷地に堆積する層厚としては1.5cm程度と想定される。

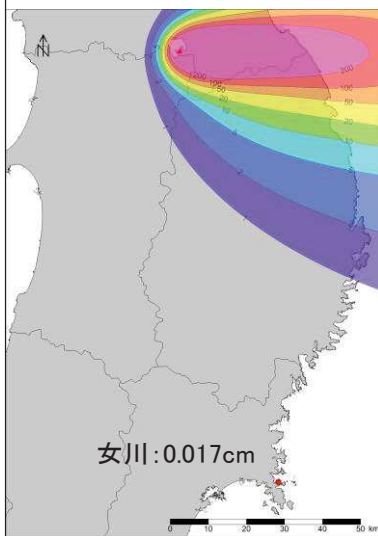


①噴煙柱高さに関する不確かさの考慮

不確かさケース①
:噴煙柱高さ30km

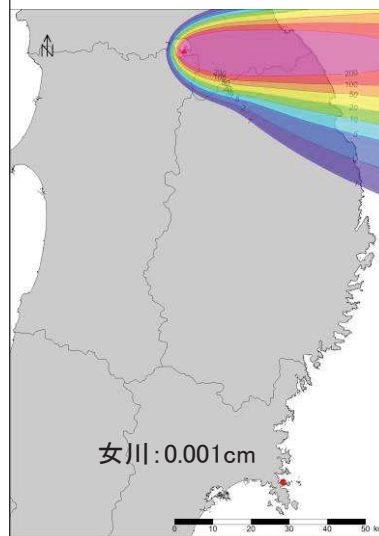


不確かさケース①'
:噴煙柱高さ20km

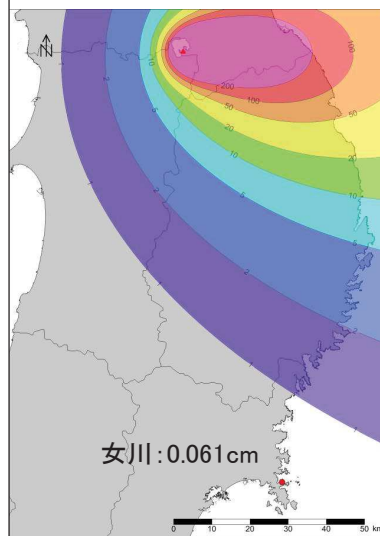


②風速に関する不確かさの考慮

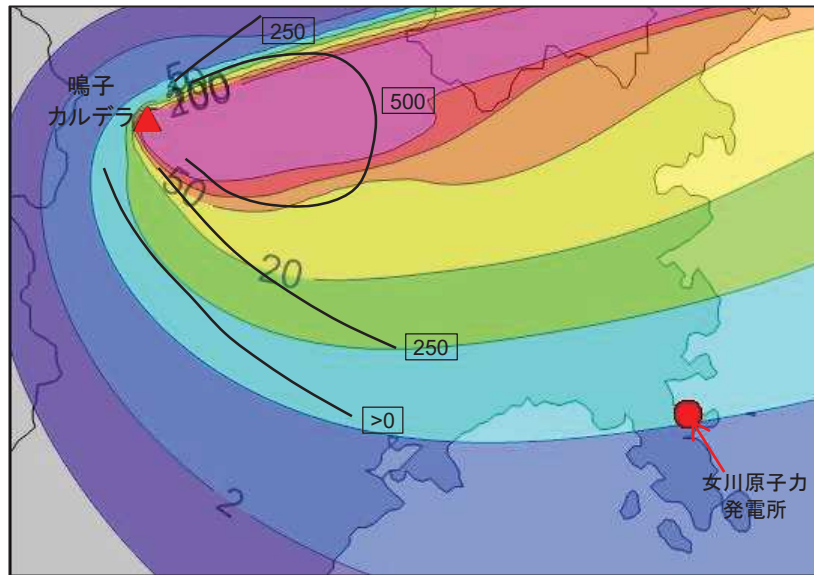
不確かさケース②
:平均風速(7月)+標準偏差



不確かさケース②'
:平均風速(7月)-標準偏差



- ▶ 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(2011)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(2011)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)

mm

200
100
50
20
10
5
2
1

町田・新井(2011)
による等層厚線

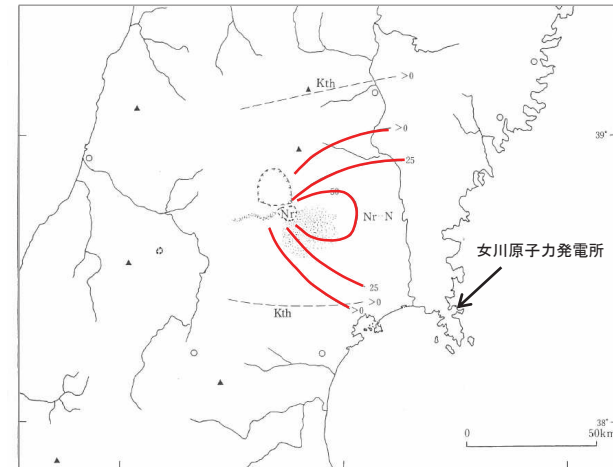
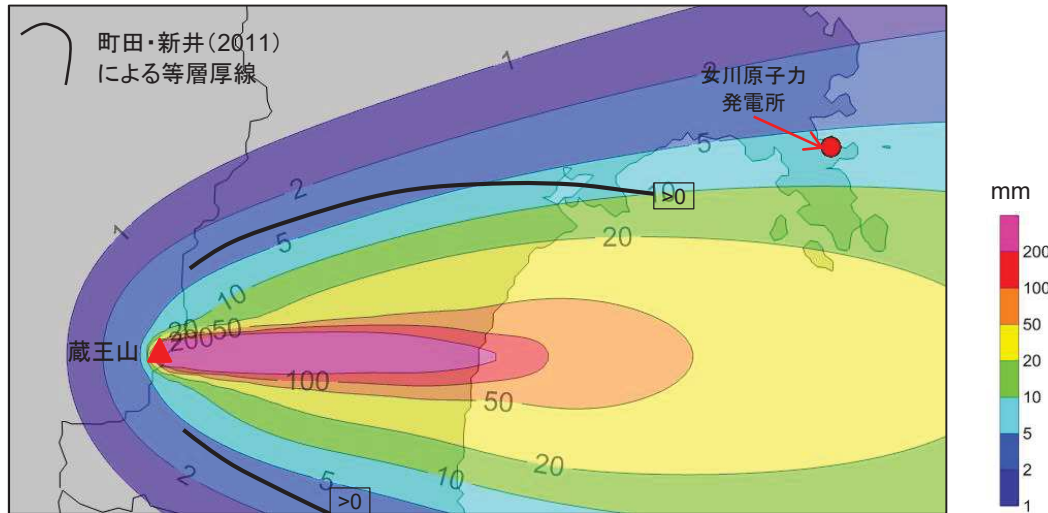


図 3.4-4 東北地方の後期更新世主要テフラの等層厚線図 (その2).
 To-SP 十和田 SP^{1,2)} To-Oks 十和田オクシ^{2),3)} To-QP 十和田QP^{1,2)} Kw 十和田川口^{3,6)}
 Iw-Od 西岩手生出⁶⁾ Iw-Y 西岩手雪浦⁶⁾ Nr-N 鳴子荷坂 (pHの分布も示す)⁶⁾ Kth 北原⁶⁾
 To: 十和田, Iw: 岩手, Nr: 鳴子.
 [1] 大池・中川 (1979), 2) 松山・大池 (1986), 3) 大上・土井 (1978), 4) 早田 (1989b), 5) 土井 (1990), 6) 土井 (1991);

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(2011)に一部加筆)

- 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(2011)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(2011)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)

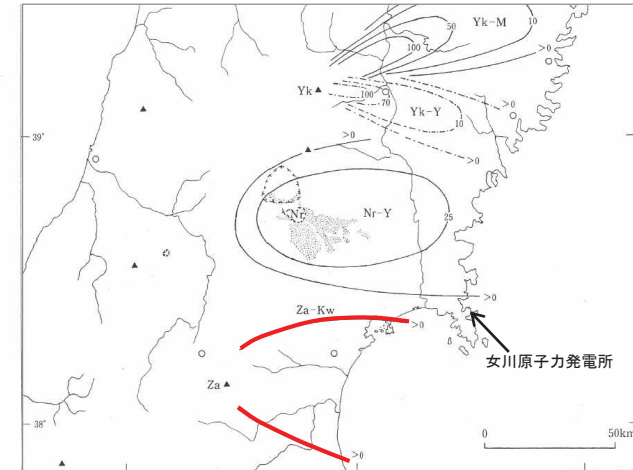


図3.4-3 東北地方の後期更新世主要テフラの等層厚線図(その1)。
Ak-Y 秋田駒崎^{1,7)} Ak-K 秋田駒小岩井¹⁾ Za-Kw 蔵王川崎²⁾ Yk-Y 焼石山形³⁾
Yk-M 焼石村崎野³⁾ Nr-Y 鳴子柳沢⁴⁾ (pHの分布も示す) To-G 十和田合同^{5,6)} To-Rd 十和田レッド^{5,6)}
To: 十和田, Iw: 岩手, Ak: 秋田駒, Yk: 焼石, Nr: 鳴子, Za: 蔵王。
[1] 大上・土井(1978), 2) Arai et al.(1986), 3) 大上・吉田(1984), 4) 早田(1989b), 5) 大池・中川(1979), 6) 松山・大池(1986), 7) 土井(1990)]

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(2011)に一部加筆)

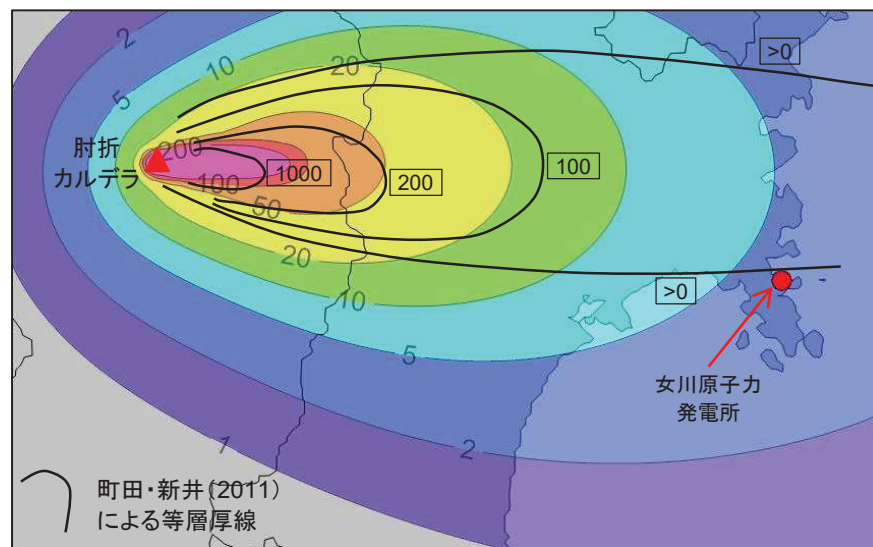
※文献で示されている蔵王川崎(Za-Kw)の露頭層厚との比較については、補足説明資料(p70-76)に示す。

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

3.1.3 シミュレーション 【シミュレーション結果と文献の比較: 肘折カルデラ】

- 7月の気象データを基本に風速を” -1σ (一標準偏差)”にしたシミュレーション結果と町田・新井(2011)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(2011)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文献で示されている等層厚線の比較(7月平均風速 -1σ)

※文献で示されている肘折尾花沢(Hj-0)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。

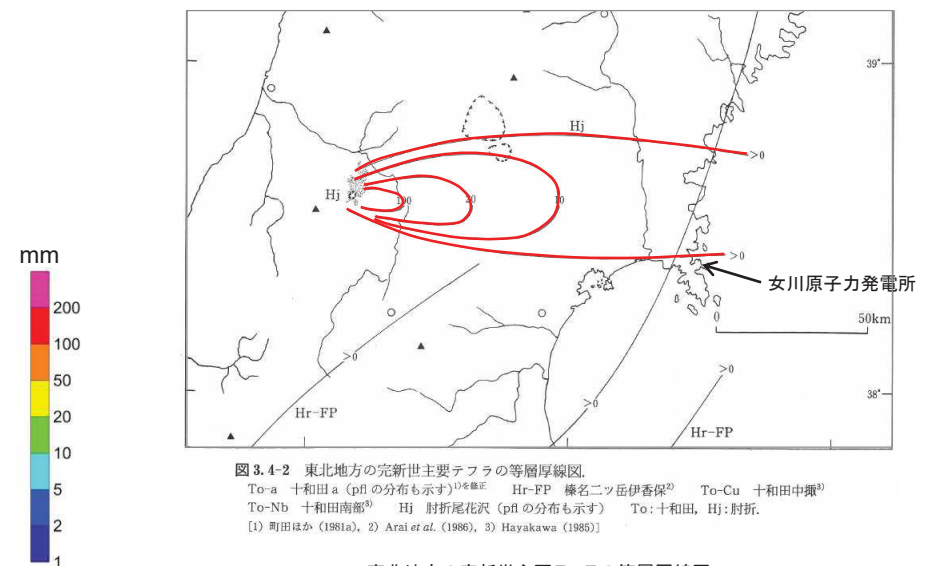


図 3.4-2 東北地方の完新世主要テフラの等層厚線図。
To-a 十和田 a (pfi の分布も示す)¹⁾を修正 Hr-FP 榛名ニッ岳伊香保²⁾ To-Cu 十和田中郷³⁾
To-Nb 十和田南郷³⁾ Hj 肘折尾花沢 (pfi の分布も示す) To: 十和田, Hj: 肘折。
[1] 町田ほか (1981a), 2) Arai et al. (1986), 3) Hayakawa (1985)]

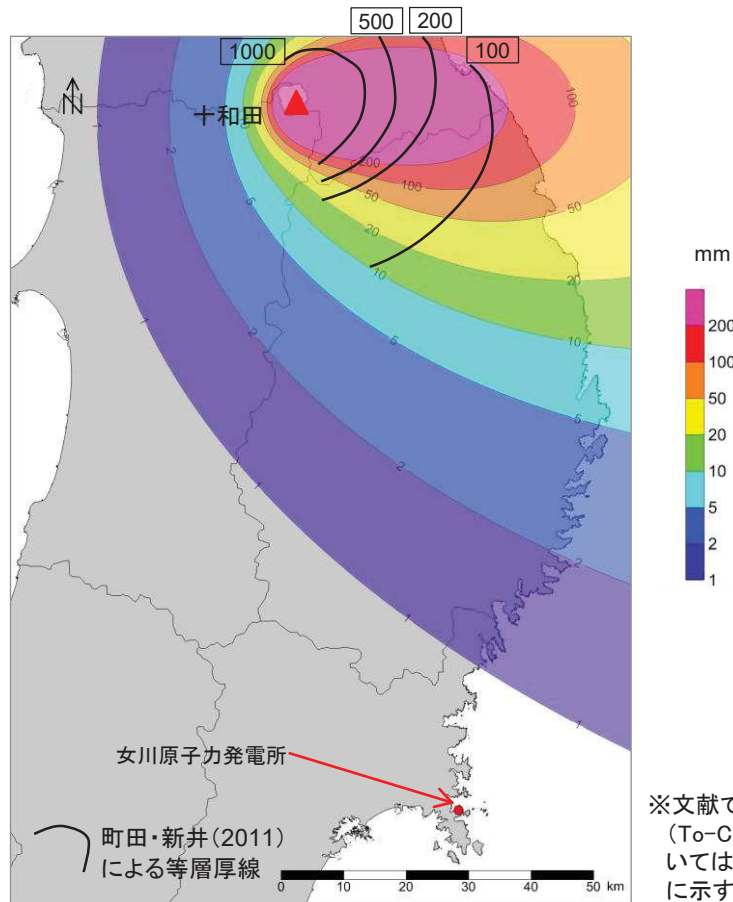
東北地方の完新世主要テフラの等層厚線図
(町田・新井(2011)に一部加筆)

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 【シミュレーション結果と文献の比較:十和田】

- 7月の気象データを基本に風速を“-1σ(一標準偏差)”にしたシミュレーション結果と町田・新井(2011)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(2011)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中振 (To-Cu) の露頭層厚との比較については、補足説明資料(p77-83)に示す。

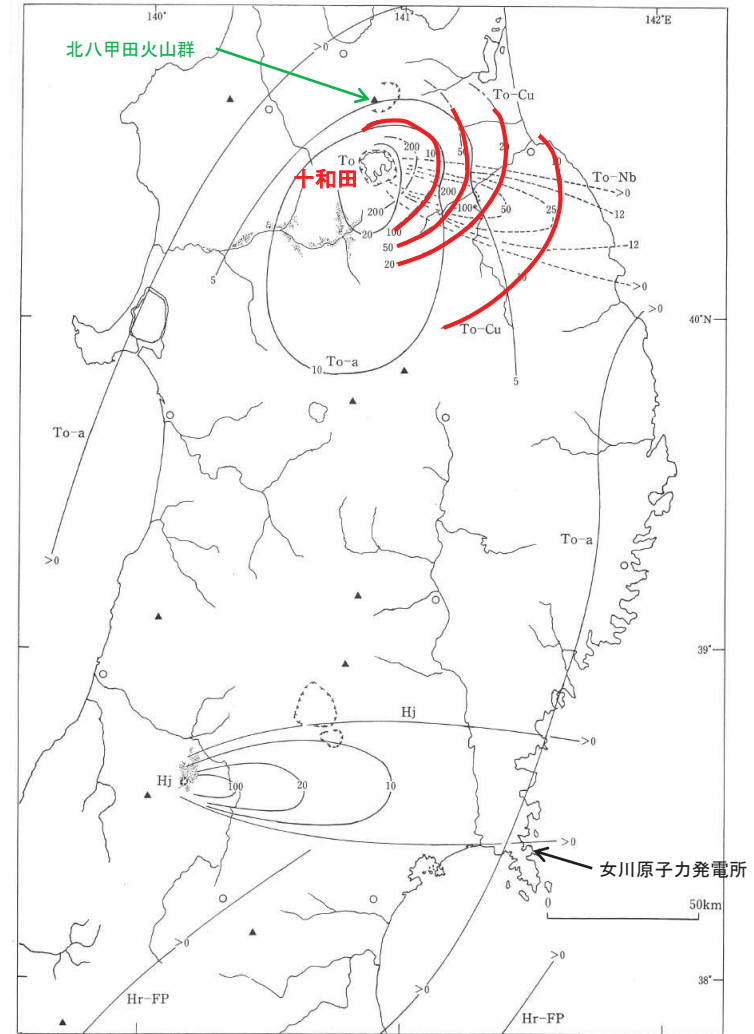


図 3.4-2 東北地方の完新世主要テフラの等層厚線図。
To-a 十和田 a (pfi の分布も示す)¹⁾ 修正 Hr-FP 樺名ニツ岳伊香保²⁾ To-Cu 十和田中振³⁾
To-Nb 十和田南³⁾ Hj 肘折尾花沢 (pfi の分布も示す) To: 十和田, Hj: 肘折。
[1] 町田ほか (1981a), 2) Arai et al. (1986), 3) Hayakawa (1986)]

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)

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【基本ケースと不確かさケースの結果】

- ▶ 降下火砕物のシミュレーションとして、基本ケース及び不確かさケースを実施した結果、女川の層厚は最大で10.8cmであった。
- ▶ 肘折カルデラを対象とした結果では最大層厚が1.5cmであったことから、敷地内で確認された肘折尾花沢(Hj-O)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、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				
		鳴子カルデラ	蔵王山	肘折カルデラ	十和田	
基本ケース(月別)	—	0.79cm	3.8cm	0.9cm	0.0099cm	
不確かさケース	噴煙柱高さ	30km	1.3cm	3.7cm	0.9cm	0.015cm
		20km	0.8cm	3.7cm	0.8cm	0.017cm
	風速	平均+1σ	0.5cm	3.5cm	0.7cm	0.001cm
		平均-1σ	2.2cm	2.4cm </td <td>0.5cm</td> <td>0.061cm</td>	0.5cm	0.061cm
風向	敷地に向う仮想風	10.8cm	3.9cm	1.5cm	0.9cm	

鳴子カルデラを給源とする鳴子荷坂を対象にしたケースが女川に最も影響を及ぼす結果であった。一方、鳴子荷坂のシミュレーション結果と町田・新井(2011)で示されている等層厚線は異なる傾向を示していた。

以上を踏まえ、さらに鳴子荷坂に関する文献調査を行い、新たに露頭調査を実施した上で、鳴子荷坂による女川への影響をより詳細に評価した。

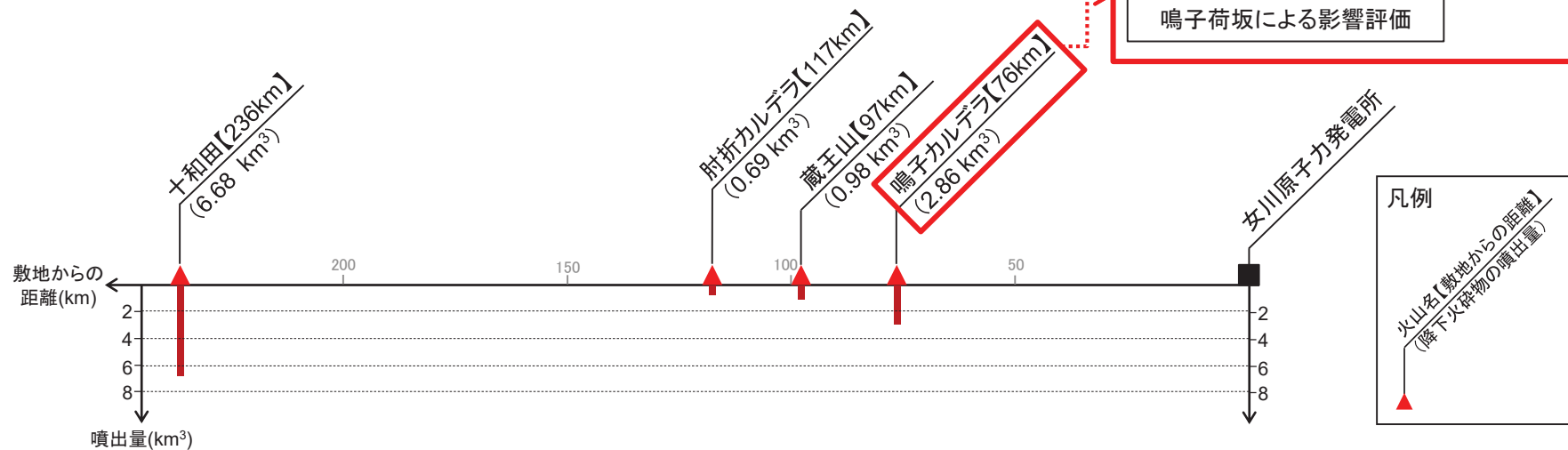
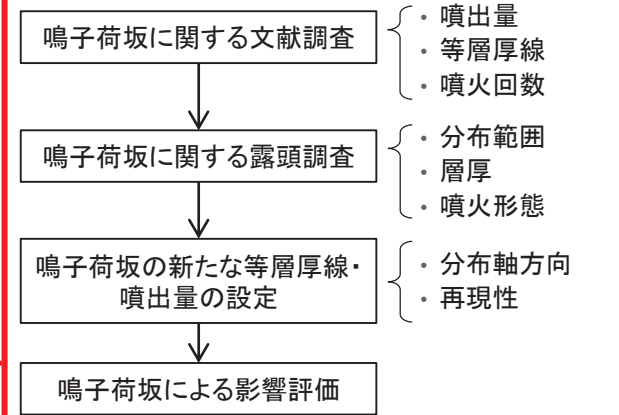


図 各火山の敷地からの距離と噴出量

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

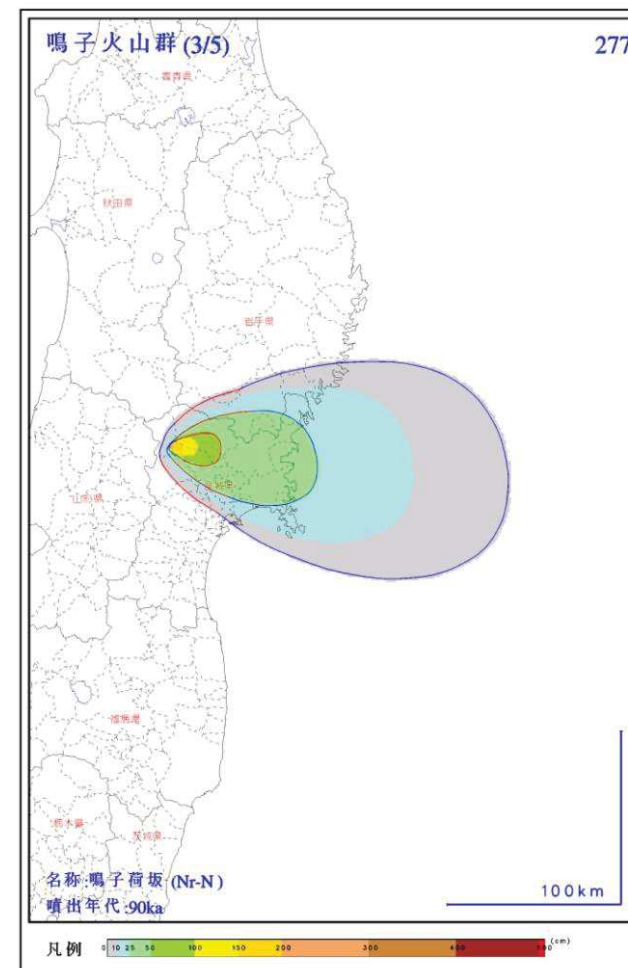
3.1.4 鳴子荷坂の詳細検討【噴出量に関する文献調査①】

鳴子荷坂の噴出量を記載している文献としては、阪口・山田(1988)、土谷ほか(1997)、伊藤ほか(1997)、第四紀火山カタログ委員会編(1999)及び須藤ほか(2007)があるものの、鳴子荷坂の降下火砕物の噴出量が示されている文献は須藤ほか(2007)のみである。

- 阪口・山田(1988)、土谷ほか(1997)、伊藤ほか(1997)及び第四紀火山カタログ委員会編(1999)では、鳴子荷坂の噴出量について記載がされているものの、それらは、すべて荷坂凝灰岩(火砕流堆積物と降下火砕物)に関するものであり、降下火砕物のみの噴出量に関する記載はない。
- 須藤ほか(2007)では、降下火砕物のみの噴出量が示されている。



鳴子荷坂の降下火砕物の噴出量に関する文献は、須藤ほか(2007)の2.86km³のみである。



須藤ほか(2007)より抜粋

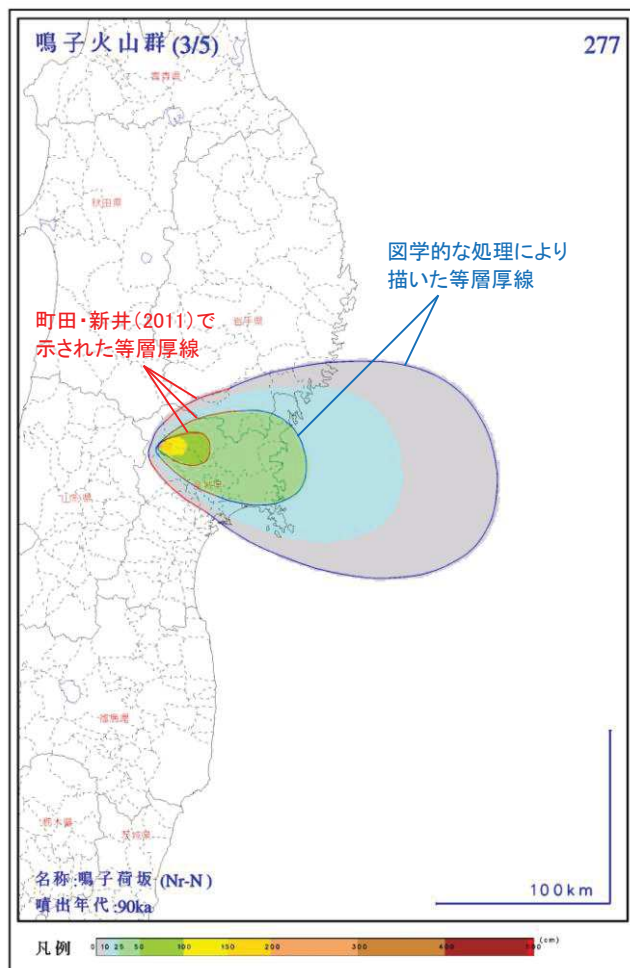
(https://www.gsj.jp/data/bulletin/58_09_01_08.pdf)

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

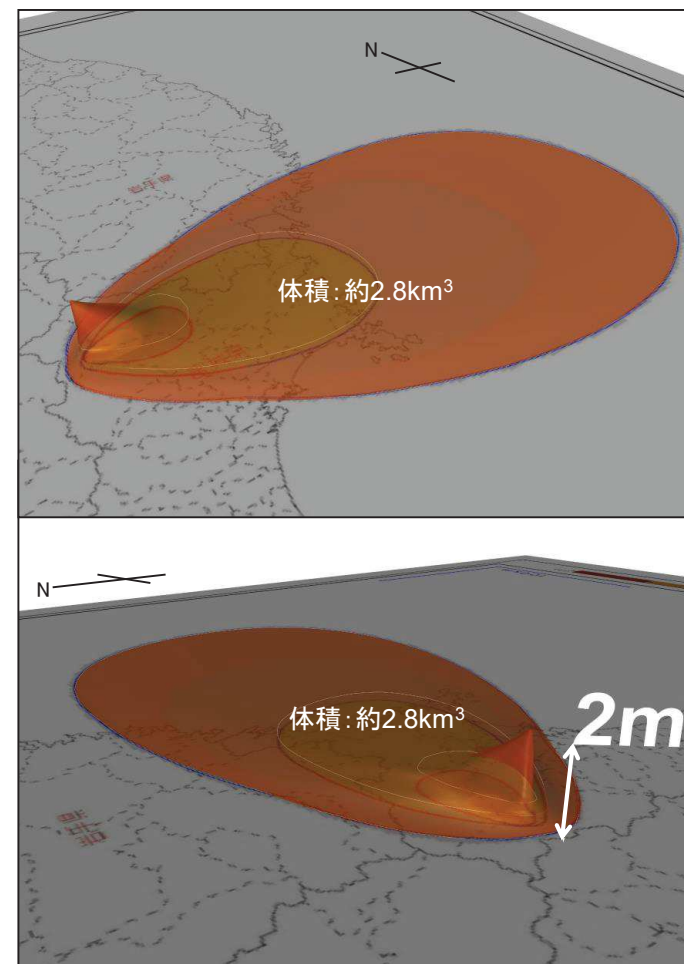
3.1.4 鳴子荷坂の詳細検討【噴出量に関する文献調査②】

- 須藤ほか(2007)で示されている鳴子荷坂(Nr-N)の噴出量(2.86km³)は、町田・新井(2011)で示されている閉じていない等層厚線(左下図の赤線)を基に、図学的な処理を施して閉じた等層厚線(左下図の青線)とした上で、それを立体化して求められたものである。
- なお、事業者としても須藤ほか(2007)の等層厚線から立体化させて噴出量を求めた結果、ほぼ同等の体積が算出されることを確認した(右下図)。



須藤ほか(2007)より抜粋、一部加筆
(https://www.gsj.jp/data/bulletin/58_09_01_08.pdf)

立体化



事業者側で立体化させた図(須藤ほか(2007)より抜粋、一部加筆)
(https://www.gsj.jp/data/bulletin/58_09_01_08.pdf)

3. 原子力発電所に影響を及ぼし得る火山事象の抽出

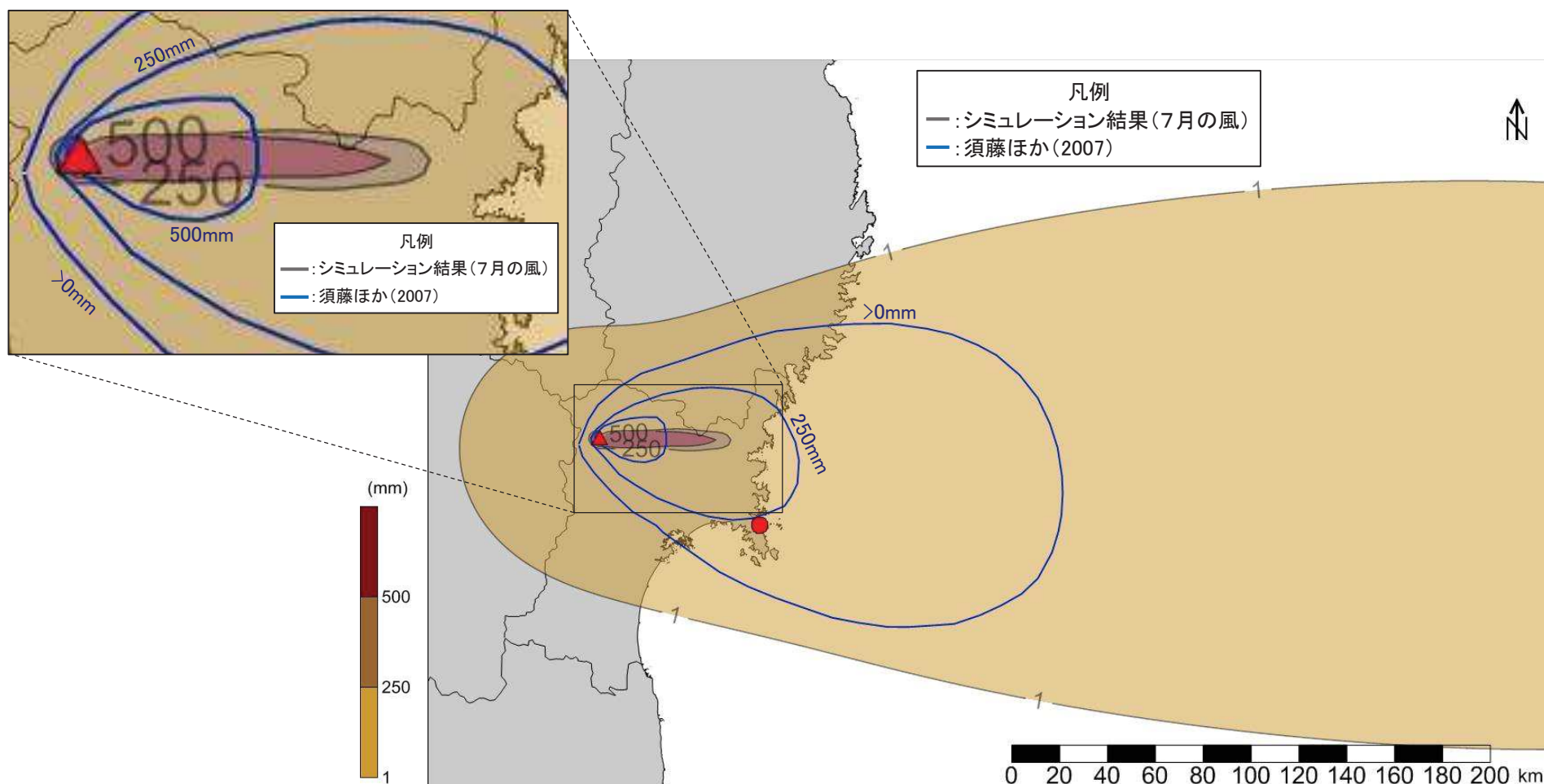
3.1 降下火砕物の影響評価

3.1.4 鳴子荷坂の詳細検討【噴出量に関する文献調査③】

須藤ほか(2007)の等層厚線(下図の青線)と須藤ほか(2007)の噴出量(2.86km³)を用いたシミュレーションの結果(7月の風)を比較すると、以下の内容が考察される(7月以外の比較は補足説明資料(p84-86)に示す)。

- 降下火砕物が堆積する範囲は、シミュレーションの方が広い。
- 250mmの等層厚線は、シミュレーションの方が堆積範囲が狭い。
- 500mmの等層厚線は、シミュレーションの方が堆積範囲が狭いものの、風下側ではシミュレーションの方が遠くまで到達している。
- 須藤ほか(2007)の等層厚線は、シミュレーションよりも南北に開いた形状となっている。

月別のシミュレーション結果では須藤ほか(2007)の等層厚線を再現することが困難であることから、シミュレーションの不確かさケース(噴煙柱高さや風速)についても比較検討を行った。



3. 原子力発電所に影響を及ぼし得る火山事象の抽出

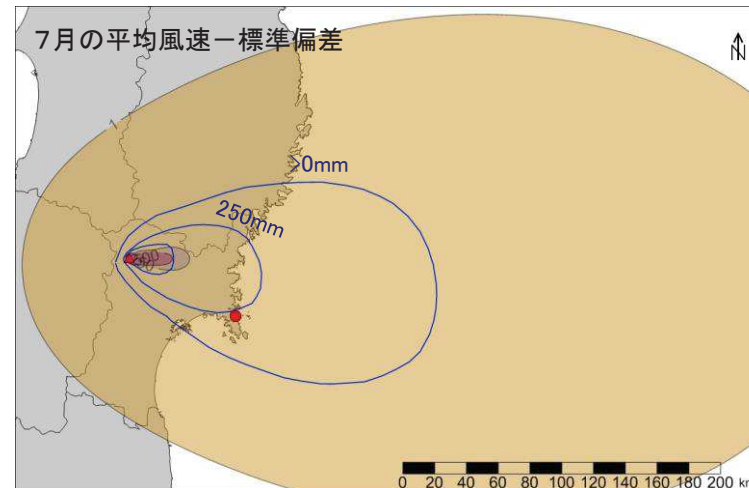
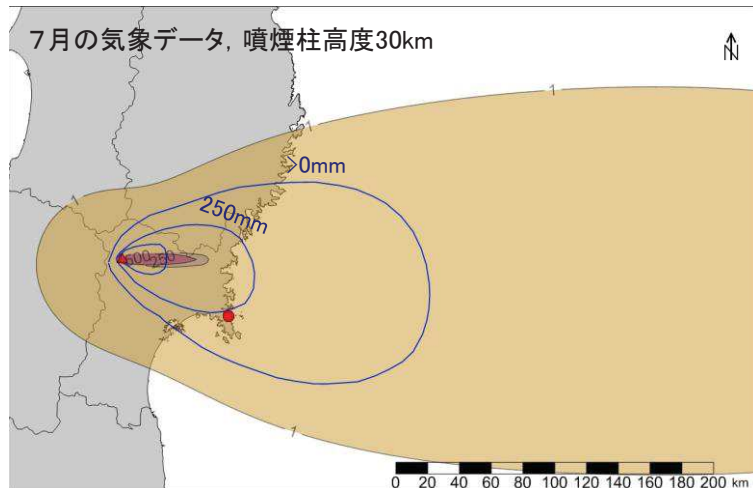
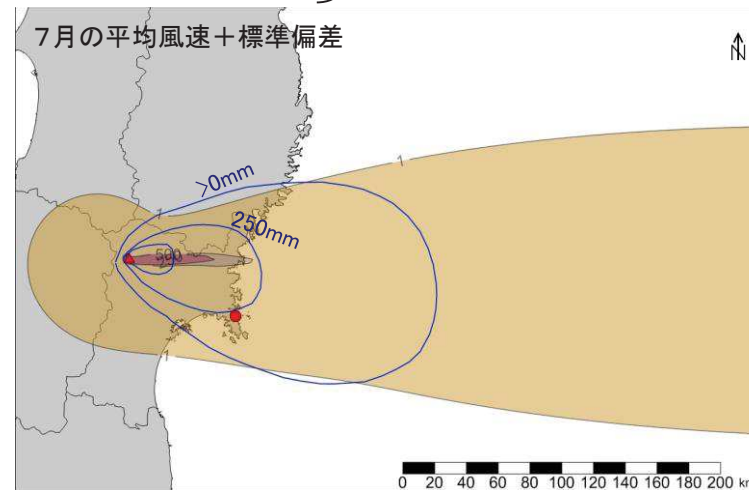
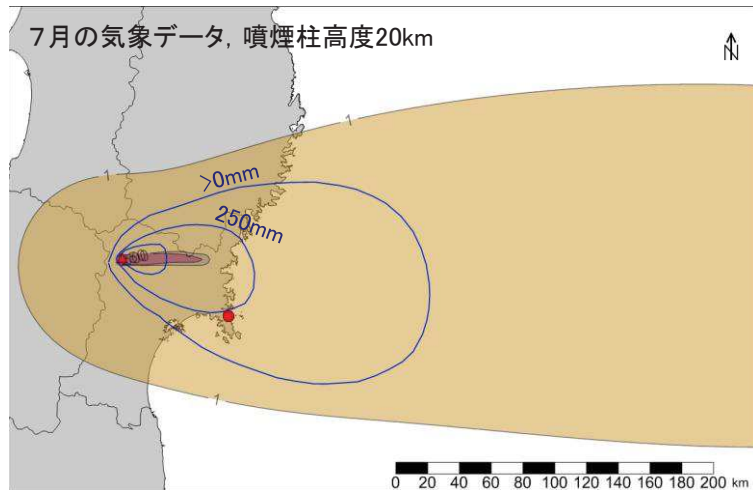
3.1 降下火砕物の影響評価

3.1.4 鳴子荷坂の詳細検討【噴出量に関する文献調査④】

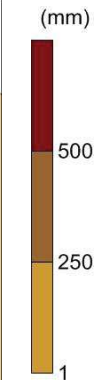
須藤ほか(2007)の等層厚線(下図の青線)とシミュレーションで不確かさを検討したケース(p93参照)との比較を行った結果, 月別の検討結果と同様の特徴が確認される。

- 降下火砕物が堆積する範囲は, シミュレーションの方が広い。
- 250mmの等層厚線は, シミュレーションの方が堆積範囲が狭い。
- 500mmの等層厚線は, シミュレーションの方が堆積範囲が狭いものの, 風下側での分布ではシミュレーションの方が遠くまで到達している。
- 須藤ほか(2007)の等層厚線は, シミュレーションよりも南北に開いた形状となっている。

不確かさのシミュレーション結果でも須藤ほか(2007)の等層厚線を再現することは困難であったことから, さらに文献調査を行った。



凡例
—:シミュレーション結果
—:須藤ほか(2007)



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

第446回審査会合(H29.2.24)
資料1-1 p101 再掲

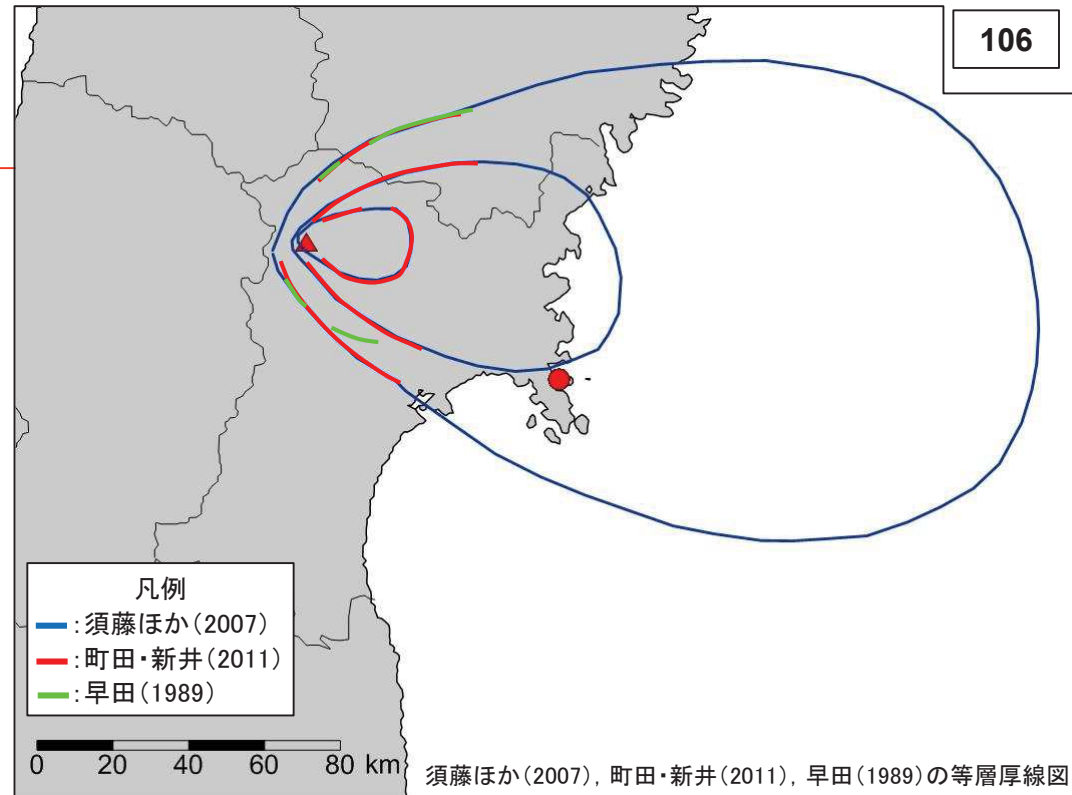
3.1.4 鳴子荷坂の詳細検討

【噴出量に関する文献調査⑤】

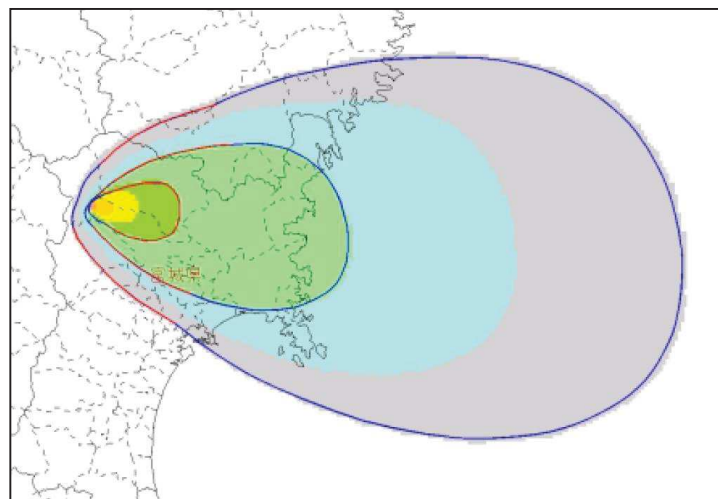
- 須藤ほか(2007)で示されている等層厚線の基となっている文献は、町田・新井(2011)であり、町田・新井(2011)は早田(1989)で示されている等層厚線を基にしている。
- 須藤ほか(2007)で示されている等層厚線は、町田・新井(2011)で示されている等層厚線を基に、図学的な処理を施して閉じた等層厚線としている。
- 一方、町田・新井(2011)の等層厚線は、早田(1989)を引用しているが、早田(1989)では0cmの線のみであり、南側の形状も多少異なる。



須藤ほか(2007)及び町田・新井(2011)の等層厚線の基となっている早田(1989)では、0cmの線のみ示されており、その形状も異なっていることから、さらに詳細な文献調査を行った。



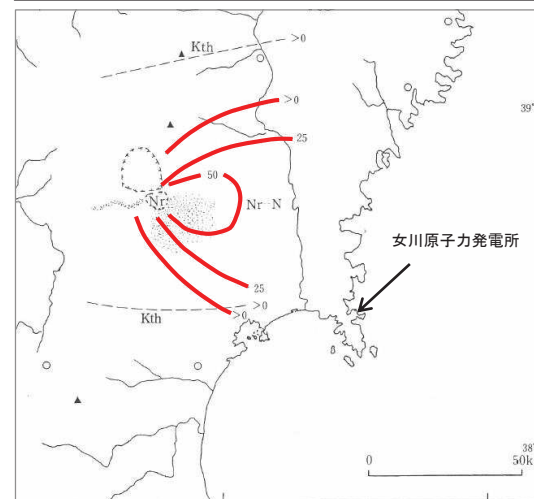
須藤ほか(2007), 町田・新井(2011), 早田(1989)の等層厚線図



凡例 0 10 25 50 100 150 200 300 400 (cm)

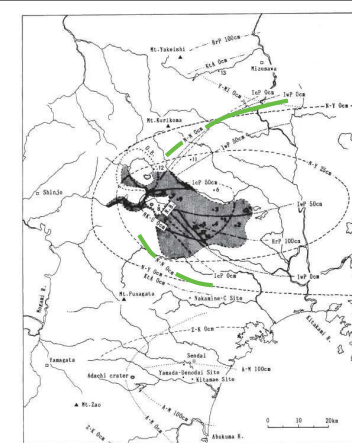
須藤ほか(2007)より抜粋

(https://www.gsj.jp/data/bulletin/58_09_01_08.pdf)



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(2011)より抜粋



仙台平野の代表的な示標テフラの分布
早田(1989)より抜粋

3.1.4 鳴子荷坂の詳細検討 【噴出量に関する文献調査⑥】

早田(1989)によれば、鳴子荷坂(Nr-N)について、以下の記述があり、降下火砕物は複数の層が認められるとされているものの、等層厚線はそれらをまとめた形で0cmの線のみが示されている。

- 下位より降下軽石層(N1), 降下軽石と降下火山灰の互層(N2), 厚い火砕流堆積物(N3: 荷坂火砕流堆積物), 細粒のガラス質降下火山灰層(N4), 成層した降下火山灰層(N5)からなる。
- N2やN5には、火山豆石が含まれており、岩出山町曲坂で層厚39cmのN2が認められる。
- N3は非溶結の火砕流堆積物で、桃色～灰白色を呈する。
- 給源に近い鳴子町上原付近では、火砕流の直上に淘汰のよい細粒のガラス質火山灰層(N4)が認められ、火砕流の噴出に伴って発生した co-ignimbrite ash fall deposit (SPARKS and WALKER(1977)) であると考えられる。

Table 1 Characteristics of marker-tephra layers

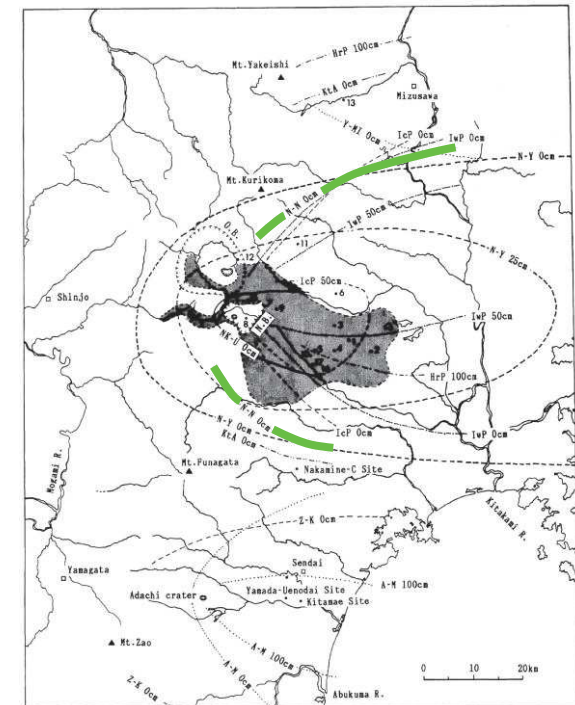
テフラ	火山ガラス	屈折率 (n)	鉱物組成	屈折率 (opx:γ, ho:n ₂)
NK-U	pm	1.492-1.500	opx>cpx≒mt	opx:1.711-1.715
N-Y ₃ 上部	pm>bw	1.500-1.503 (1.502)	opx>ho≒mt (bi,ol)	opx:1.717-1.721 (1.719) ho:1.873-1.877
N-Y ₃ 下部	pm>bw	1.501-1.503	opx>ho,mt (bi,cpx)	opx:1.717-1.722 ho:1.837-1.876
N-Y ₂	pm	1.500-1.501	poor (opx,ho,mt)	
N-N ₃	pm	1.500-1.502 (1.501)	opx>mt	opx:1.724-1.728
N-N ₁	pm	1.501-1.502	opx>mt	opx:1.724-1.728

鉱物組成の () は、量の少ないものを示す。屈折率の () はモードを示す。

pm: 軽石型火山ガラス bw: バブル型火山ガラス opx: 斜方輝石
cpx: 単斜輝石 ho: 普通角閃石 cum: カミングトン閃石
mt: 磁鉄鉱 bi: 黒雲母 ol: かんらん石

ARAI et al. (1986) に加筆。

早田(1989)に一部加筆



仙台平野の代表的な示標テフラの分布
早田(1989)より抜粋

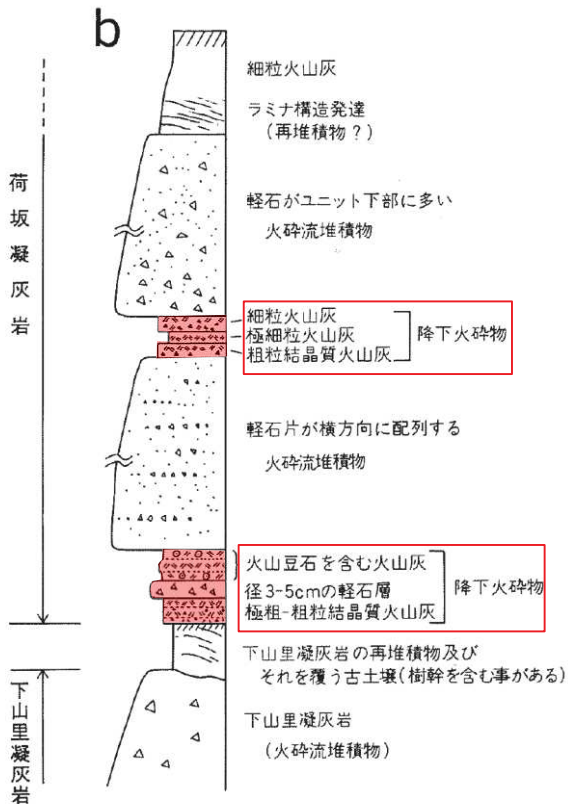
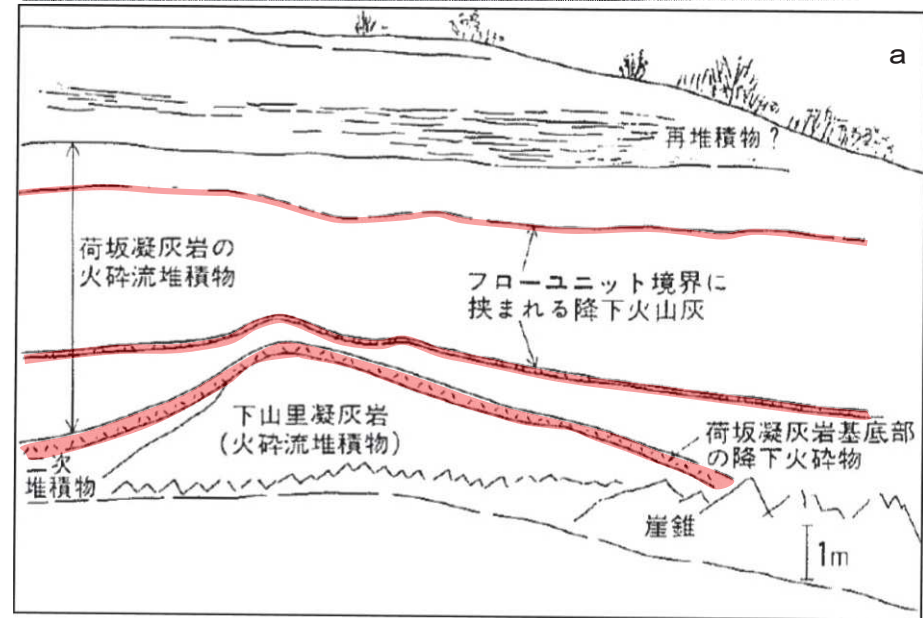
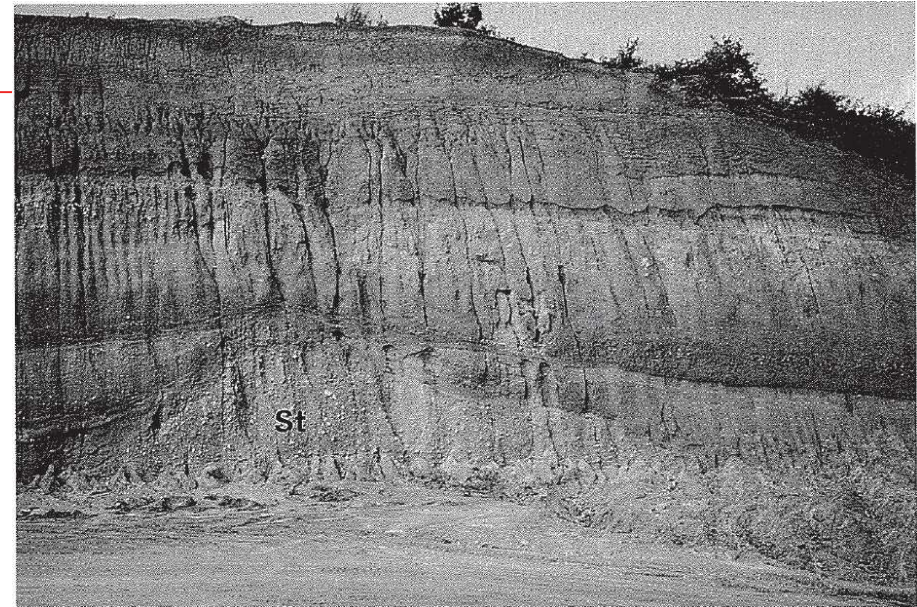
3. 原子力発電所に影響を及ぼし得る火山事象の抽出

3.1 降下火砕物の影響評価

3.1.4 鳴子荷坂の詳細検討

【噴出量に関する文献調査⑦】

- 土谷ほか(1997)によれば、岩出山町葛岡北部の採土場(鳴子カルデラから約16kmの地点)において、荷坂凝灰岩中及び基底部に、降下火山灰を複数確認している。
- ただし、等層厚線に関しては記載されていない。



凡例

	軽石に富む 火砕流堆積物
	軽石が配列する 火砕流堆積物
	軽石層
	結晶片・岩片に富む 火山灰
	火山灰
	火山豆石を含む 火山灰

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 15 m。 b: 柱状図

(土谷ほか(1997)に一部加筆)

- 鳴子荷坂の噴出量に関する文献は、須藤ほか(2007)のみである。
- 須藤ほか(2007)で示されている噴出量は、町田・新井(2011)の等層厚線を基に算出している。
- 町田・新井(2011)の等層厚線は、早田(1989)を基にしているものの、その形状等は異なる。
- 須藤ほか(2007)の噴出量と等層厚線は、シミュレーションで再現することは困難であった。
- 早田(1989)では、鳴子荷坂の噴火が複数回発生して堆積したことを示しており、土谷ほか(1997)でも同様に複数回の噴火を示唆している。
- 早田(1989)及び土谷ほか(1997)では、鳴子荷坂の複数回の噴火による等層厚線は示されていない。



町田・新井(2011)及び須藤ほか(2007)の等層厚線は、上述の複数の降下火砕物の層厚を合算したものであることから、1回のシミュレーションで再現することは極めて困難であると考えられる。したがって、複数の降下火砕物の等層厚線とそれらを基にした再現可能な噴出量の算出が必要である。



鳴子荷坂の噴出量を算出するため、以下の流れで検討を行う(詳細は次頁以降に示す)。

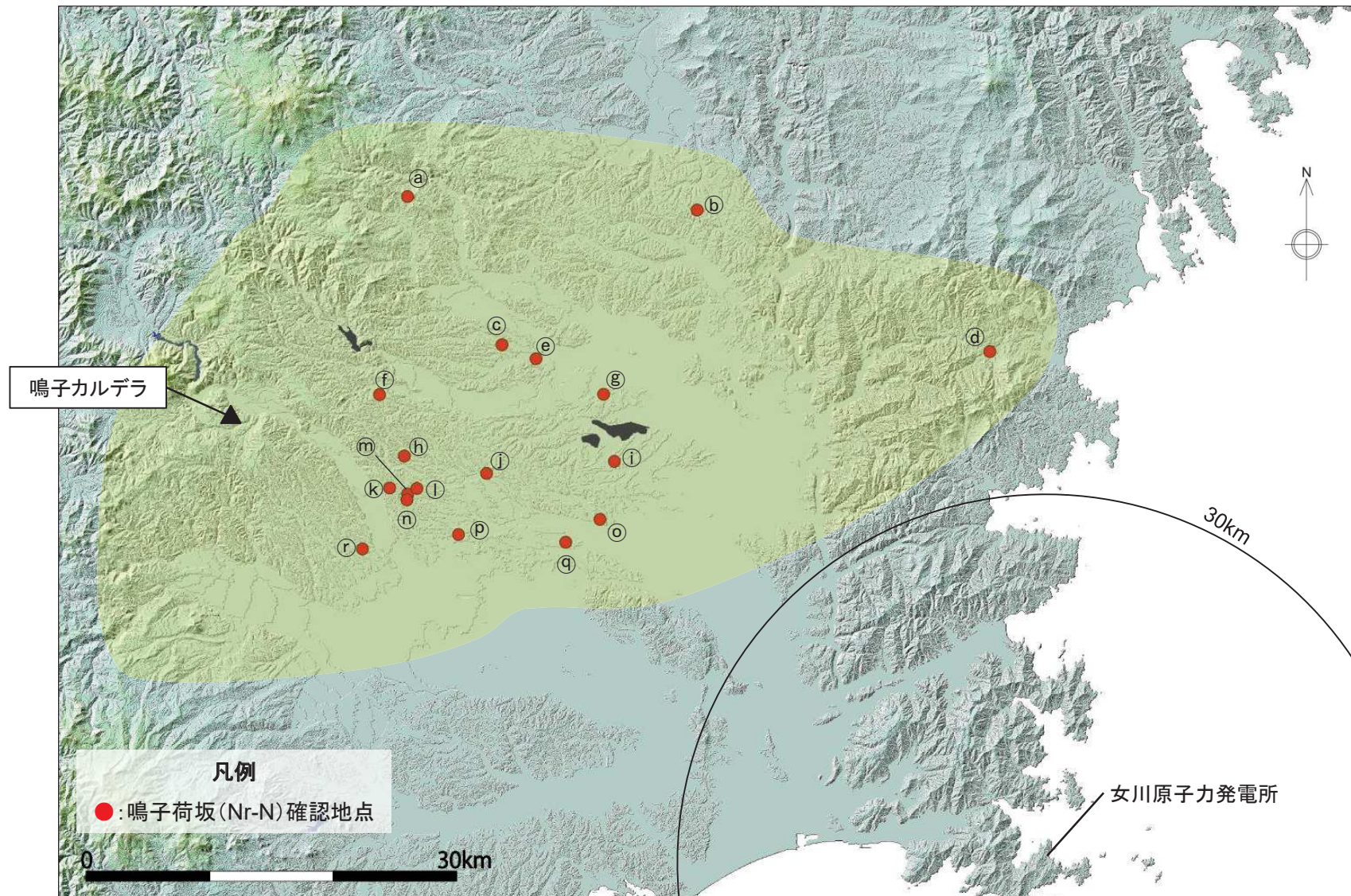
- 鳴子荷坂を対象に、鳴子カルデラ周辺で露頭調査を行うとともに、さらに文献調査を行う。
- 露頭及び文献調査の結果を踏まえ、各噴火の等層厚線図を作成し、それぞれ再現可能な噴出量を算出する。
- 算出した噴出量等を用いて、女川原子力発電所の降下火砕物の影響を検討する。

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. 4 鳴子荷坂の詳細検討【露頭調査①】

- 鳴子荷坂の噴火が複数回であった可能性を検討するため、下図の黄色でハッチングした範囲で露頭調査を行い、18箇所の露頭(a~r)で鳴子荷坂(Nr-N)を確認した。



3. 原子力発電所に影響を及ぼし得る火山事象の抽出

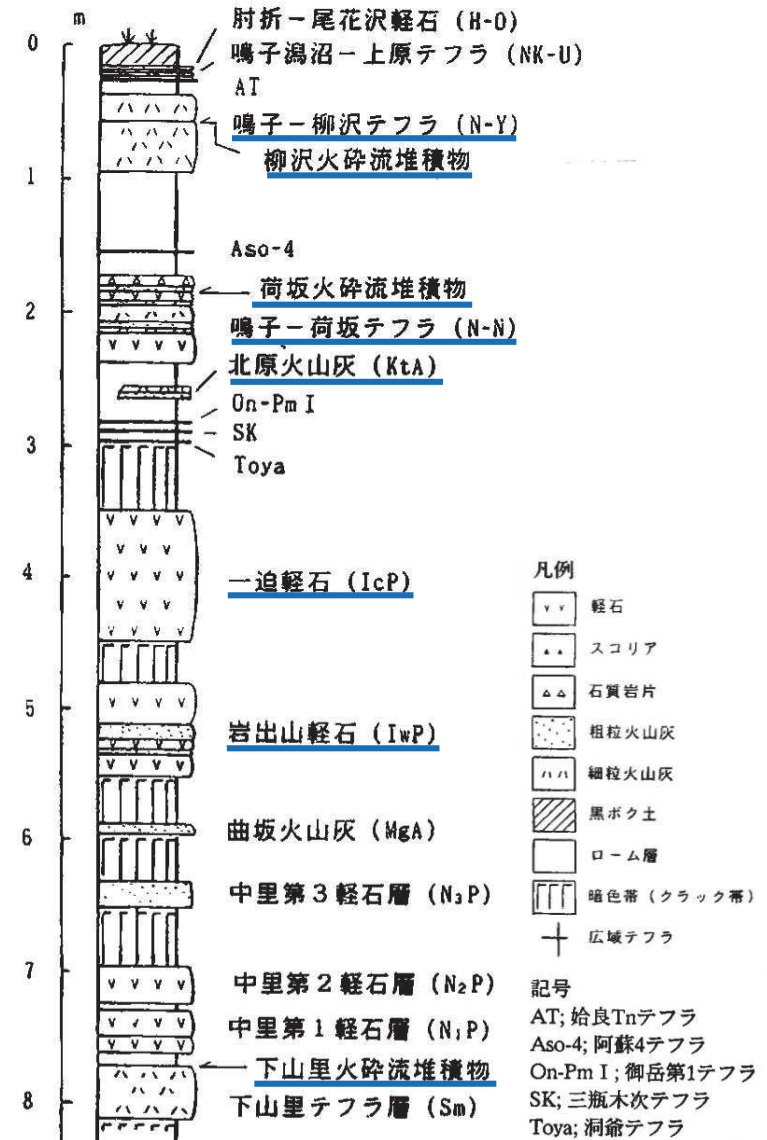
3. 1 降下火砕物の影響評価

3. 1. 4 鳴子荷坂の詳細検討 【露頭調査②】

- 早田(1993)に宮城県北部のテフラ模式柱状図が示されている(右図参照)。
- 今回実施した鳴子荷坂(Nr-N)の調査にあたっては、この模式柱状図を参考にした。
- なお、本頁以降では、下表に示すように、鳴子荷坂(Nr-N)の全体を示す場合には「Nr-N」とし、各層を示す場合には「N-N₁」～「N-N₅」で表すこととする。

本資料	テフラ名(略称)		噴出年代	
	早田(1993)	町田・新井(2011)		
鳴子柳沢 (Nr-Y)	鳴子-柳沢テフラ (N-Y)	鳴子柳沢 (Nr-Y)	4.1~6.3万年前※1	
鳴子荷坂 (Nr-N)	鳴子-荷坂テフラ (N-N)	鳴子荷坂 (Nr-N)	9万年前※1	
	N-N ₅			N ₅
	N-N ₄			N ₄
	N-N ₃			N ₃
	N-N ₂			N ₂
N-N ₁	N ₁			
北原 (Kth)	北原火山灰 (KtA)	北原 (Kth)	9~10万年前※1	
鳴子一迫 (Nr-It)	一迫軽石 (IcP)	鳴子一迫 (Nr-It)	11~12万年前以降※1	
岩出山 (Iwd)	岩出山軽石 (IwP)	岩出山 (Iwd)	19万年前※2	
下山里 (Smy)	下山里テフラ層 (Sm)	下山里 (Smy)	21±9万年前※3	

調査対象テフラ



宮城県北部のテフラ模式柱状図(早田(1993)に一部加筆)
(青下線のテフラは、本調査で確認済)

※1 町田・新井(2011)
※2 早田(1989)
※3 土谷ほか(1997)

3. 原子力発電所に影響を及ぼし得る火山事象の抽出

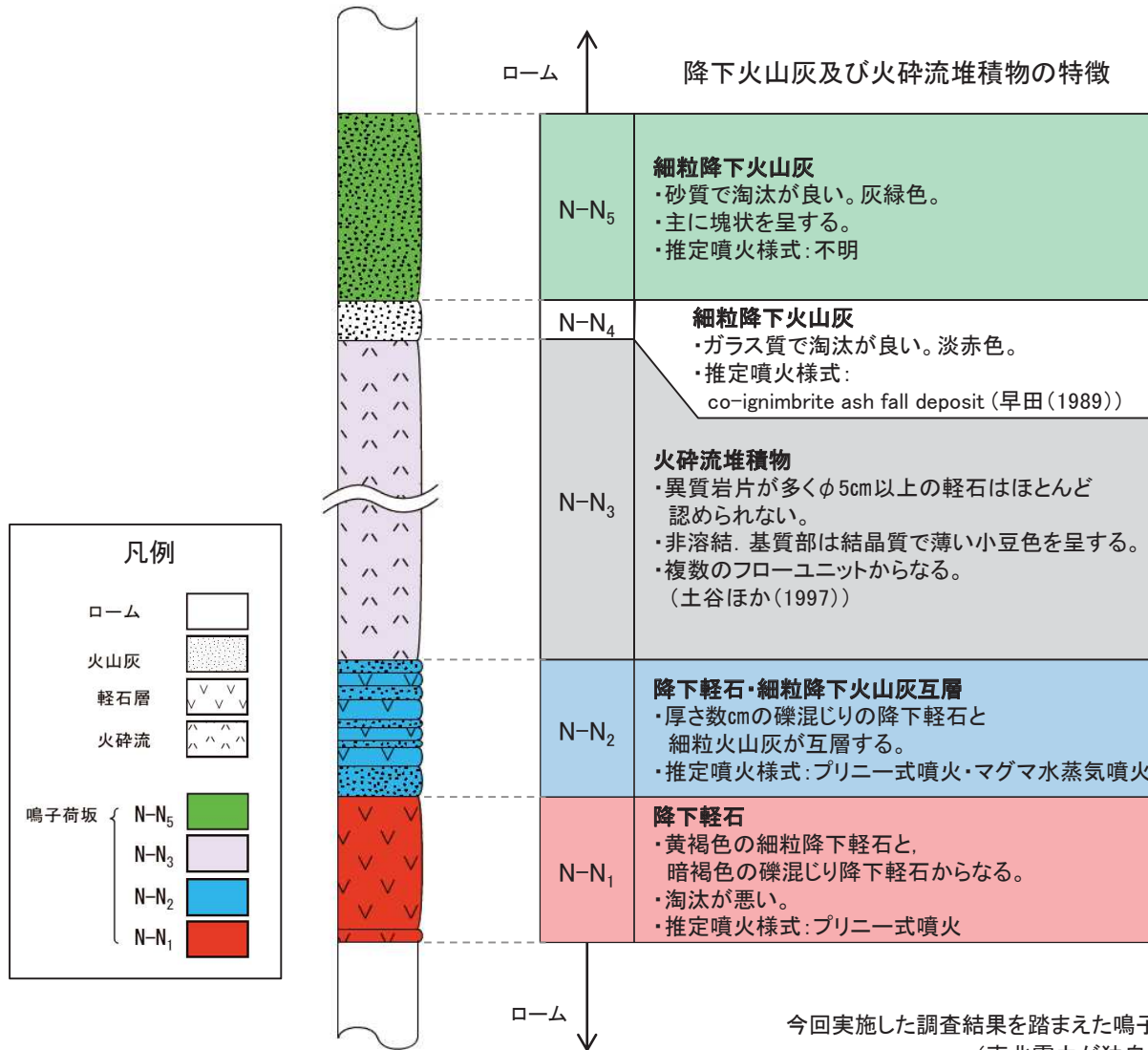
3.1 降下火砕物の影響評価

3.1.4 鳴子荷坂の詳細検討【露頭調査③】

- 本調査で確認された鳴子荷坂(Nr-N)の模式柱状図は下図のとおりである。
- 早田(1989)で示されている鳴子荷坂(Nr-N)のユニット区分と同様の層相を確認した。

【早田(1989)で示されるユニット区分】

- N₅: 細粒降下火山灰
- N₄: 細粒降下火山灰
- N₃: 火砕流堆積物
- N₂: 降下軽石と細粒降下火山灰の互層
- N₁: 降下軽石



噴火様式不明

細粒火山灰層。
→火砕流の噴出により陥没し形成した火口湖があったと考えられる。

火砕流噴火

火砕流堆積物。
→ N-N₄は火砕流の噴出に伴って発生した火山灰(co-ignimbrite ash fall deposit)の可能性がある(早田(1989))。

プリニー式噴火とマグマ水蒸気噴火

降下軽石層と細粒火山灰層の互層。
→小規模な火口湖もしくは河川の流入があったと考えられる。

プリニー式噴火

降下軽石層。
→岩片が多く含まれることから、噴火に伴って火口が形成されたと考えられる。

今回実施した調査結果を踏まえた鳴子荷坂(Nr-N)の模式柱状図
(東北電力が独自に作成)

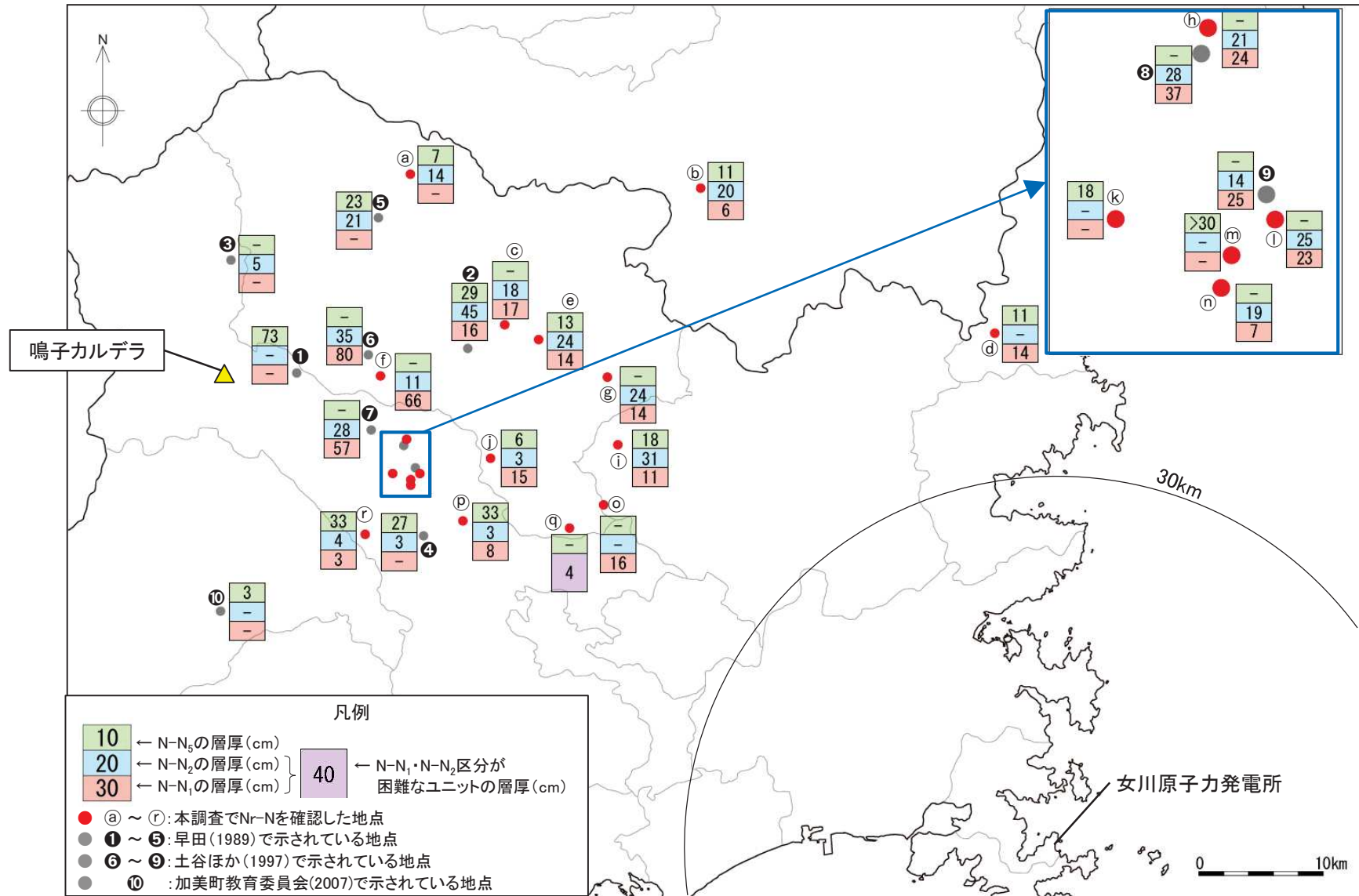
3. 原子力発電所に影響を及ぼし得る火山事象の抽出

3. 1 降下火砕物の影響評価

3. 1. 4 鳴子荷坂の詳細検討 【露頭調査④】

- 本調査で確認されたNr-Nの各層厚は、下図のとおりである。
- また、文献調査の結果、10箇所でNr-Nの各層厚を確認したことから、これらも下図に示す。

※N-N₁、N-N₂及びN-N₅の各層厚分布図は補足説明資料 (p88-90) 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

3.1.4 鳴子荷坂の詳細検討【露頭調査⑤】

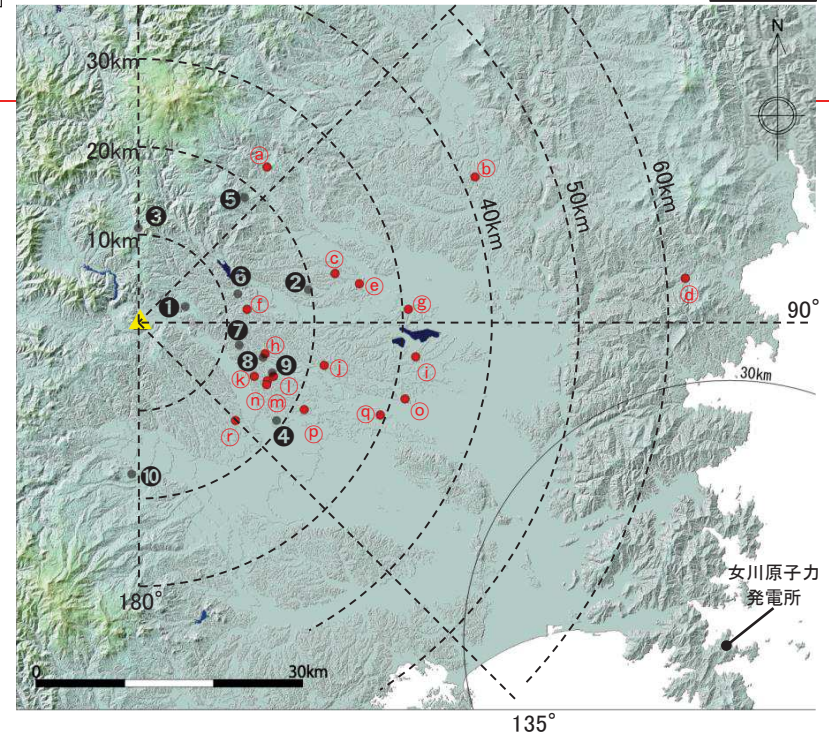
第446回審査会合(H29.2.24)
資料1-1 p109 再掲

- 本調査で確認されたNr-Nの各層厚は、下表のとおりである。
- また、文献調査の結果、10箇所でのNr-Nの各層厚を確認したことから、これらも右下の表に示す。
- 次頁以降、鳴子カルデラから約15km、30km、60km離れた代表的な露頭(調査結果)を示す。それ以外の露頭については、補足説明資料(p91-107)に示す。

今回の調査で得られたNr-Nの層厚

露頭名	鳴子カルデラからの距離(km)	鳴子カルデラからの方位角(°)	最大層厚(cm)				詳細掲載頁
			N-N ₁	N-N ₂	N-N ₅	合計	
Ⓐ	23.18	39.45	—	14	7	21	補足説明資料 p91
Ⓑ	41.65	66.20	6	20	11	37	補足説明資料 p92-93
Ⓒ	23.07	75.68	17	18	—	35	補足説明資料 p94
Ⓓ	62.08	85.06	14	—	11	25	本資料p119-120
Ⓔ	25.51	79.76	14	24	13	51	補足説明資料 p95
Ⓕ	12.59	82.59	66	11	—	77	補足説明資料 p96
Ⓖ	30.67	86.85	14	24	—	38	補足説明資料 p97
Ⓗ	14.90	103.22	24	21	—	45	補足説明資料 p98
Ⓘ	31.72	96.79	11	31	18	60	本資料p118
⓷	21.70	102.77	15	3	6	24	補足説明資料 p99
Ⓚ	14.59	114.49	—	—	18	18	補足説明資料 p100
Ⓛ	16.63	111.39	23	25	—	48	補足説明資料 p101
Ⓜ	16.18	113.90	—	—	30	30	補足説明資料 p102-103
Ⓝ	16.32	115.47	7	19	—	26	本資料p115
Ⓞ	31.54	105.84	16	—	—	16	補足説明資料 p104
Ⓟ	21.36	117.49	8	3	33	44	補足説明資料 p105
Ⓠ	29.51	110.72	4*	—	—	4	補足説明資料 p106-107
Ⓡ	15.76	134.62	3	4	33	40	本資料p116-117

次頁以降で示す露頭



文献調査で確認したNr-Nの層厚

本資料での露頭名	鳴子カルデラからの距離(km)	鳴子カルデラからの方位角(°)	最大層厚(cm)				詳細掲載頁
			N-N ₁	N-N ₂	N-N ₅	合計	
①	5.89	70.77	—	—	73	73	補足説明資料 p108
②	19.75	78.66	16	45	29	90	補足説明資料 p108
③	10.91	1.41	—	5	—	5	補足説明資料 p108
④	19.28	125.14	—	3	27	30	補足説明資料 p108
⑤	18.83	40.19	—	21	23	44	補足説明資料 p108
⑥	11.85	73.53	80	35	—	115	補足説明資料 p109
⑦	11.86	102.35	57	28	—	85	補足説明資料 p109
⑧	14.82	105.47	37	28	—	65	補足説明資料 p109
⑨	16.34	110.22	25	14	—	39	補足説明資料 p109
⑩	17.23	181.93	—	—	3	3	補足説明資料 p110

※確認されたテフラについて、N-N₁かN-N₂の判断がつかなかったことから、確認された最大層厚をそれぞれ考慮することとする。

3. 原子力発電所に影響を及ぼし得る火山事象の抽出

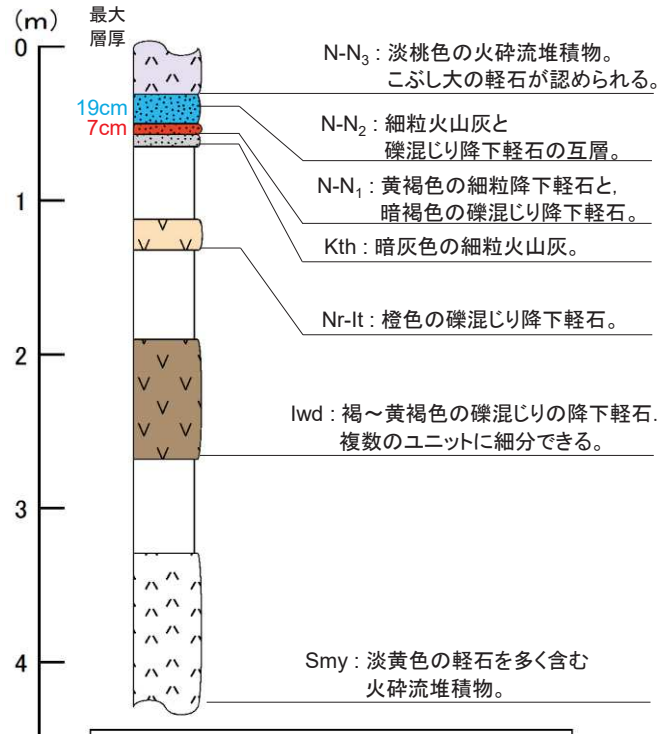
3.1 降下火砕物の影響評価

3.1.4 鳴子荷坂の詳細検討【露頭調査:㊦地点(曲坂)】

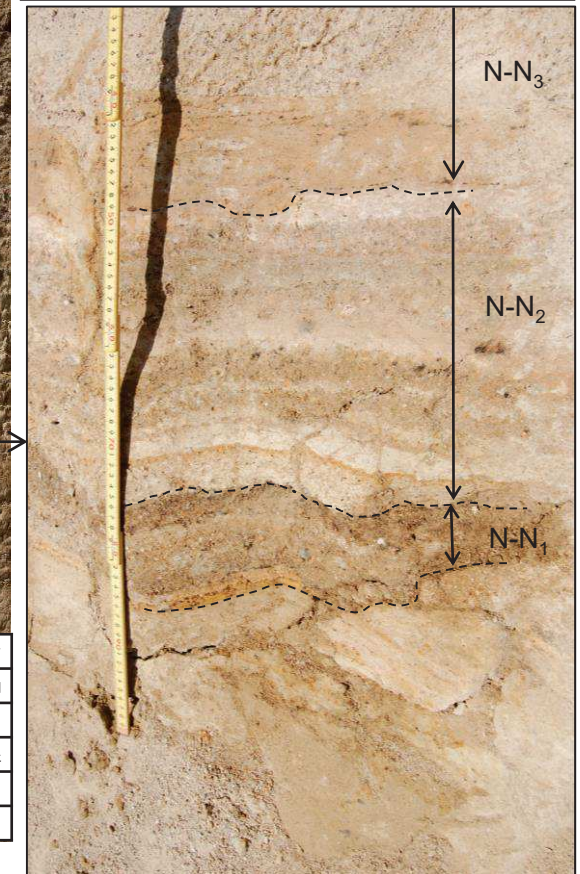
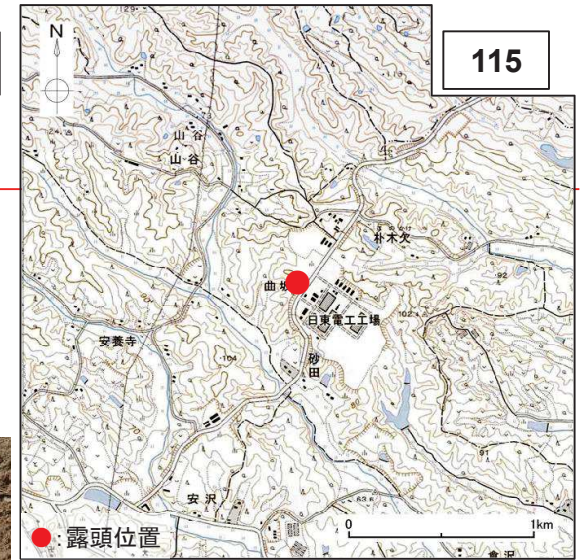
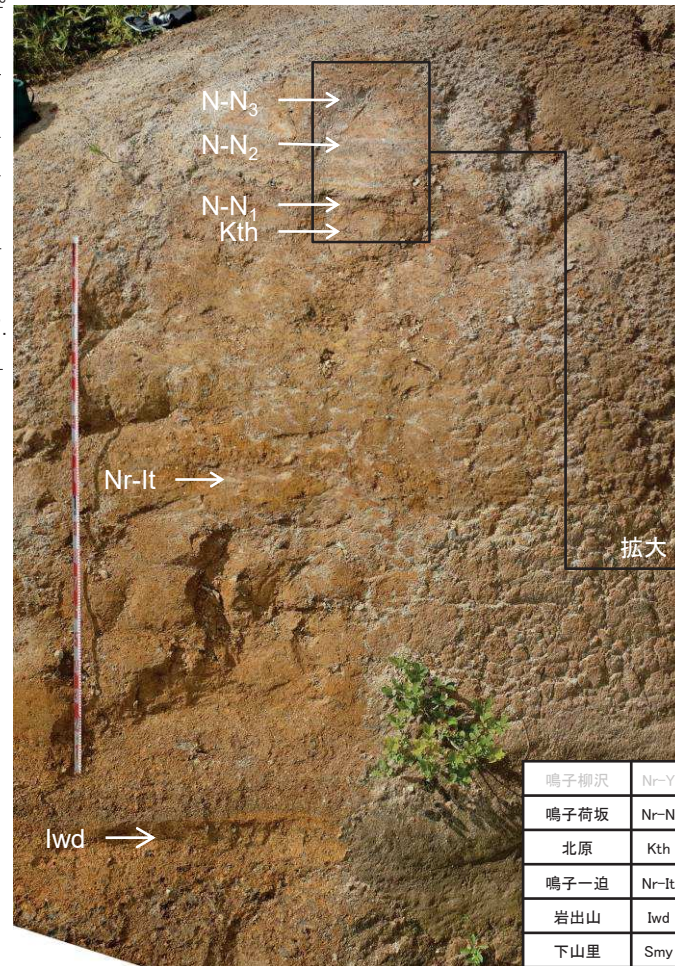
第446回審査会合(H29.2.24)
資料1-1 p110 再掲

115

- 本露頭では、下位よりSmy, lwd, Nr-It, Kth, Nr-Nが確認される。
- Nr-Nについては、N-N₁, N-N₂及びN-N₃が確認される。



露頭名	鳴子カルデラ からの 距離(km)	鳴子カルデラ からの 方位角(°)	最大層厚(cm)		
			N-N ₁	N-N ₂	N-N ₅
㊦	16.32	115.47	7	19	—



凡例	
ローム	鳴子荷坂 { N-N ₃ (淡桃色), N-N ₂ (青), N-N ₁ (赤)
火山灰	北原 : Kth (灰色)
軽石層	鳴子一迫 : Nr-It (黄色)
火砕流	岩出山 : lwd (茶色)

鳴子柳沢	Nr-Y
鳴子荷坂	Nr-N
北原	Kth
鳴子一迫	Nr-It
岩出山	lwd
下山里	Smy

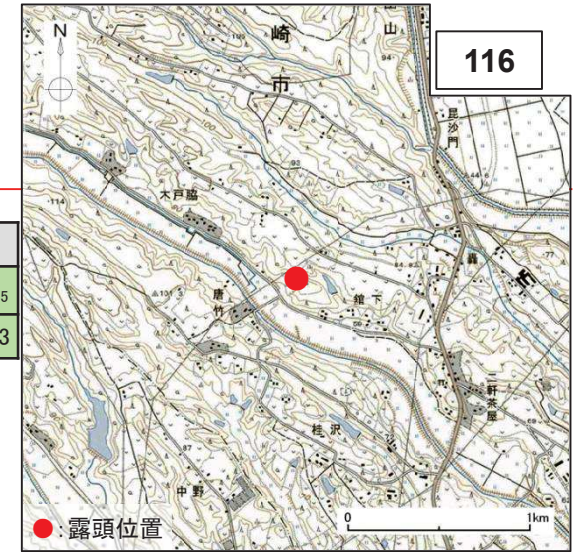
※写真よりさらに下位にSmyを確認

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

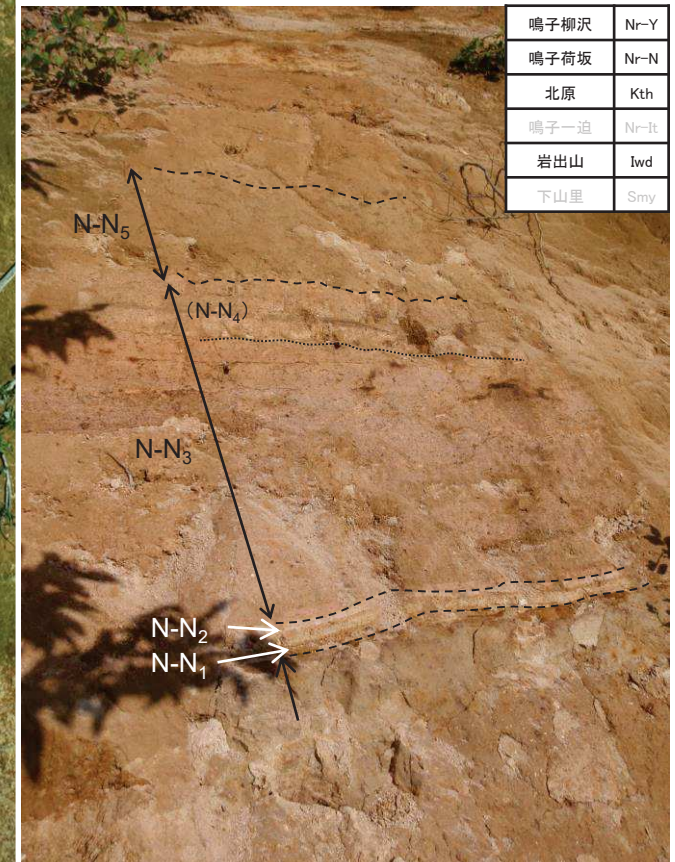
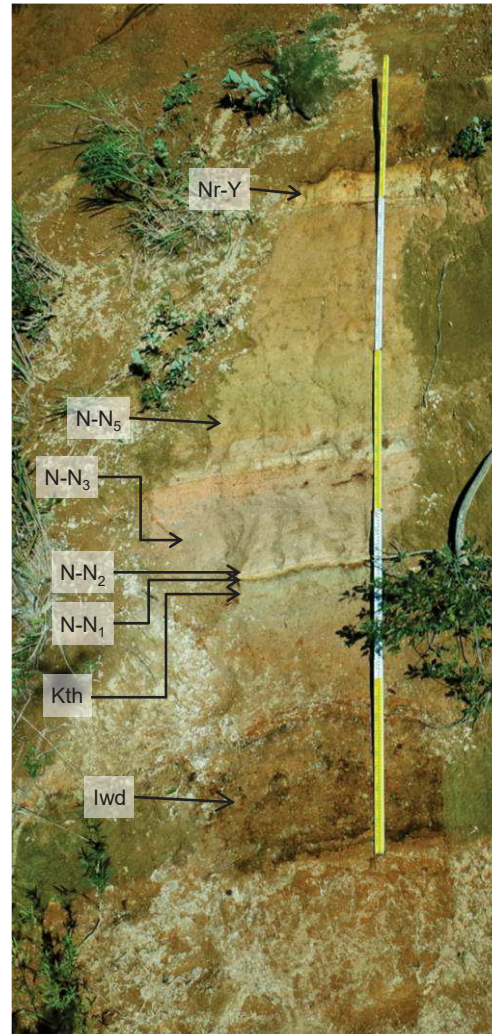
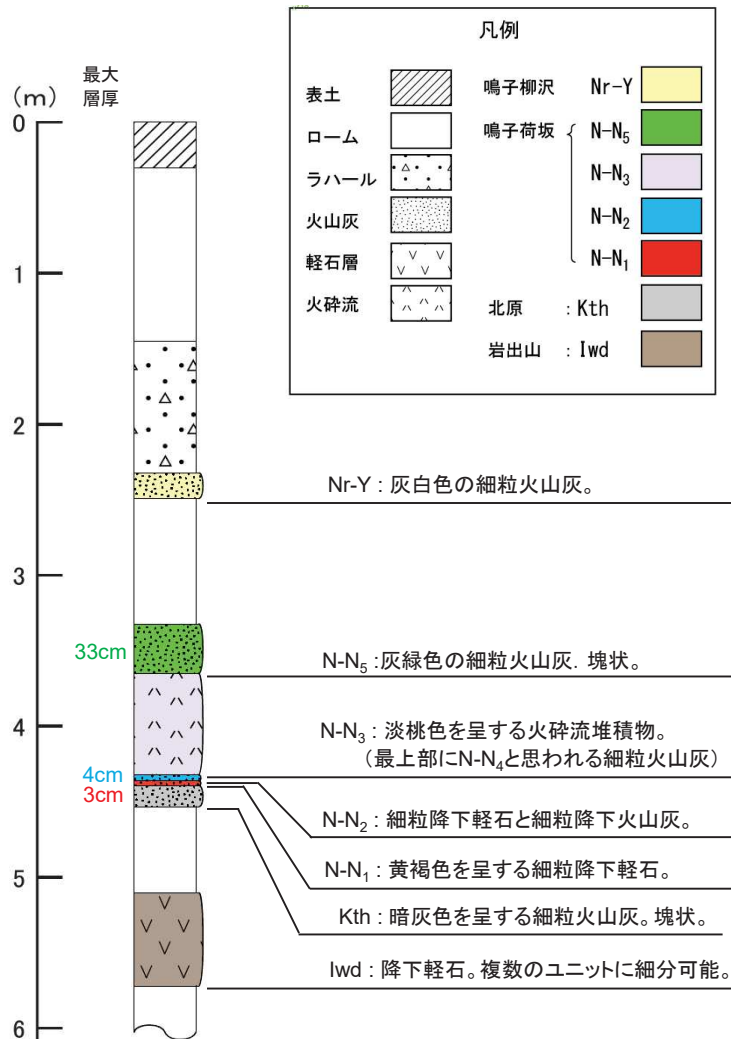
3.1.4 鳴子荷坂の詳細検討 【露頭調査: ①地点(館下)①】

第446回審査会合(H29.2.24)
資料1-1 p111 再掲



- 本露頭では、下位よりIwd, Kth, Nr-N, Nr-Yが確認される。
- Nr-Nについては、N-N₁, N-N₂, N-N₃及びN-N₅が確認される。

露頭名	鳴子カルデラからの距離(km)	鳴子カルデラからの方位角(°)	最大層厚(cm)		
			N-N ₁	N-N ₂	N-N ₅
①	15.76	134.62	3	4	33



3. 原子力発電所に影響を及ぼし得る火山事象の抽出

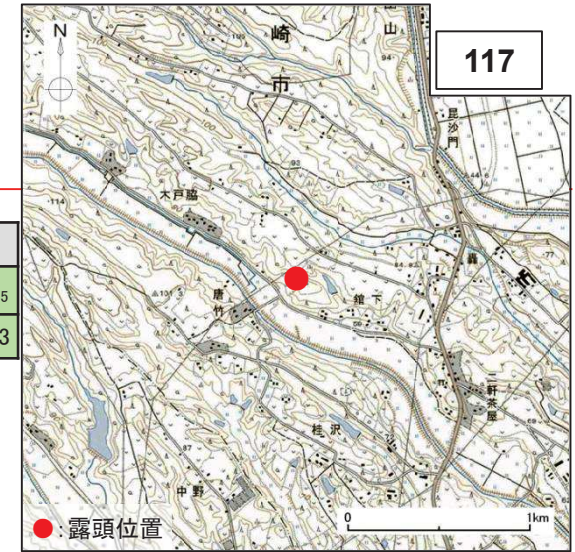
3.1 降下火砕物の影響評価

3.1.4 鳴子荷坂の詳細検討 【露頭調査: ①地点(館下)②】

第446回審査会合 (H29.2.24)
資料1-1 p112 再掲

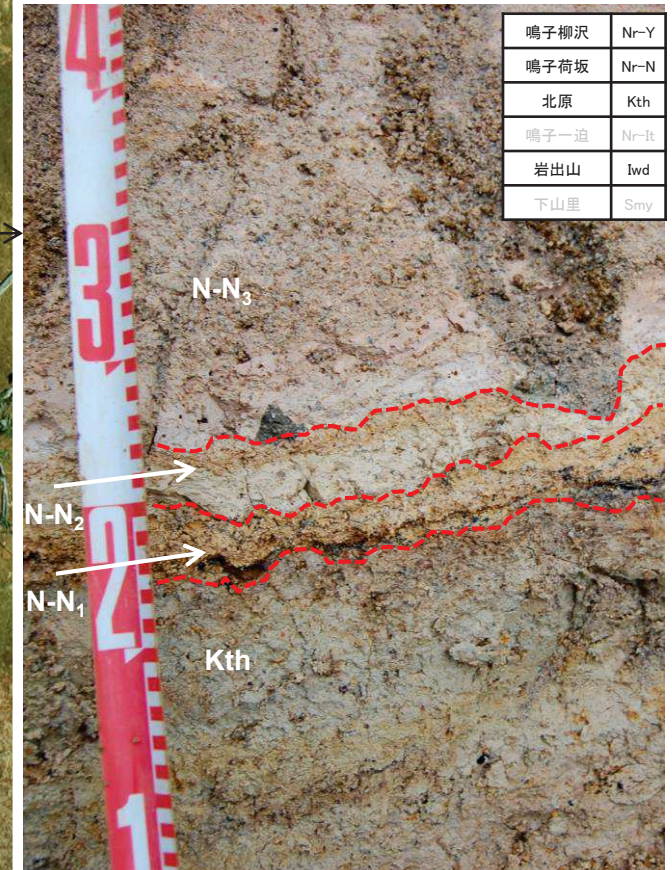
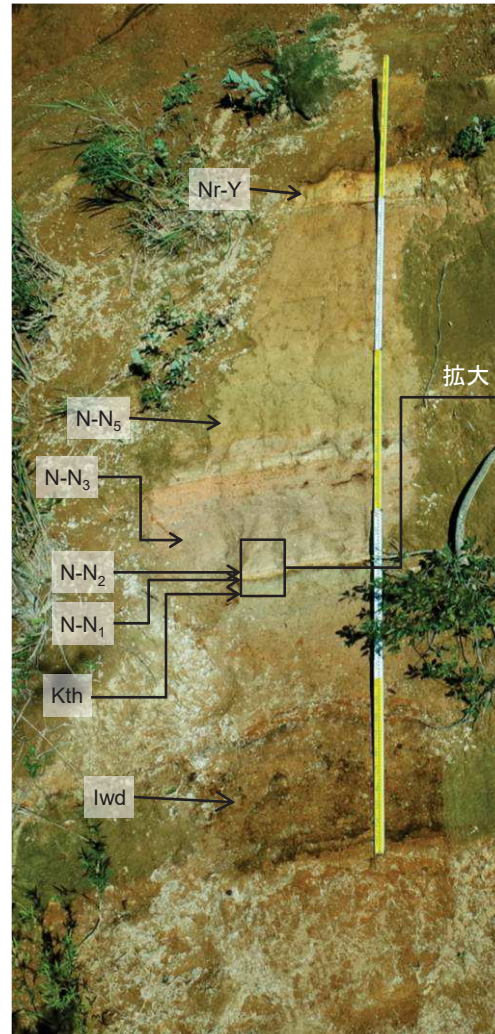
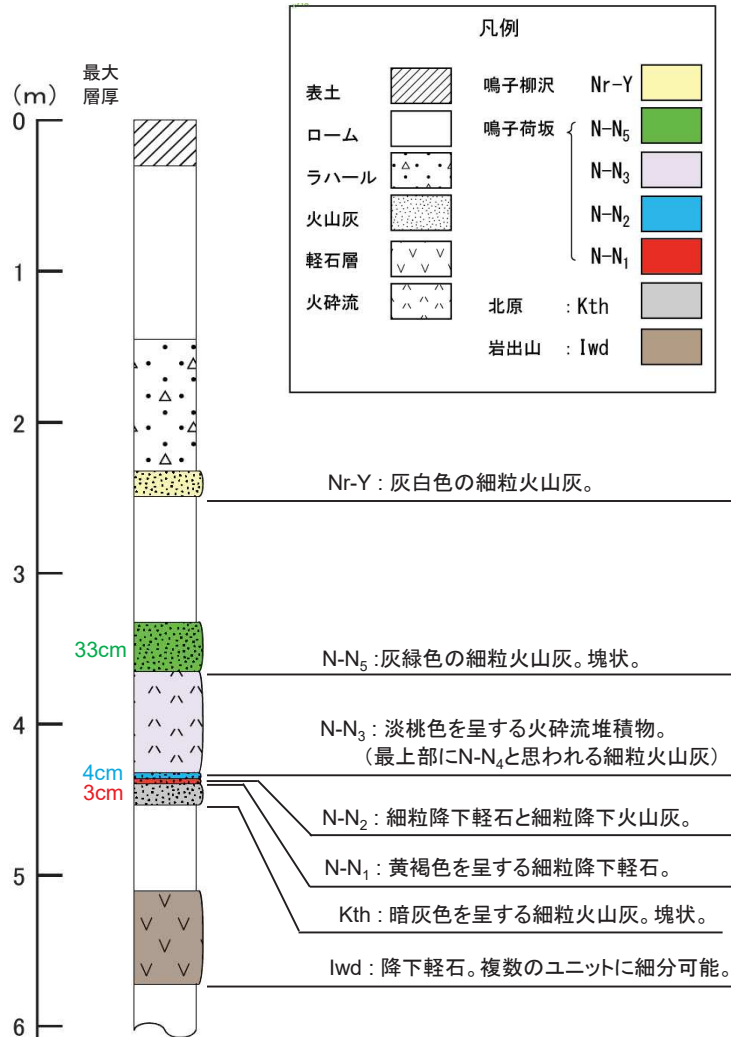
たてした

117



- 本露頭では、下位よりIwd, Kth, Nr-N, Nr-Yが確認される。
- Nr-Nについては、N-N₁, N-N₂, N-N₃及びN-N₅が確認される。

露頭名	鳴子カルデラからの距離(km)	鳴子カルデラからの方位角(°)	最大層厚(cm)		
			N-N ₁	N-N ₂	N-N ₅
①	15.76	134.62	3	4	33



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

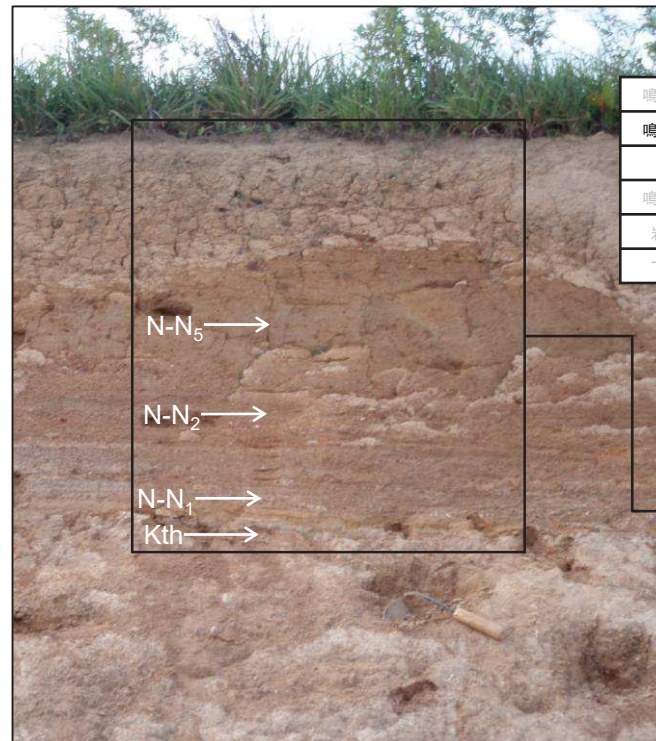
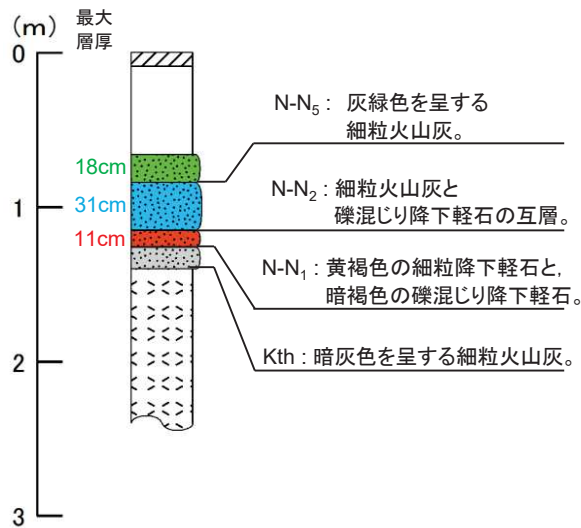
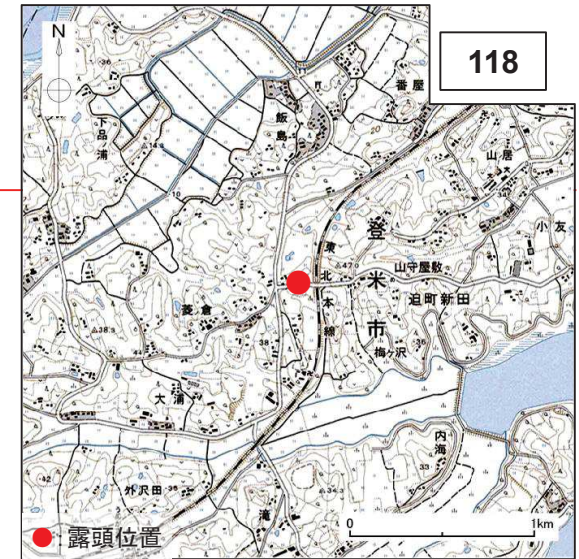
3.1.4 鳴子荷坂の詳細検討 【露頭調査: ①地点(菱ノ倉)】

第446回審査会合(H29.2.24)
資料1-1 p113 再掲

ひしのくら

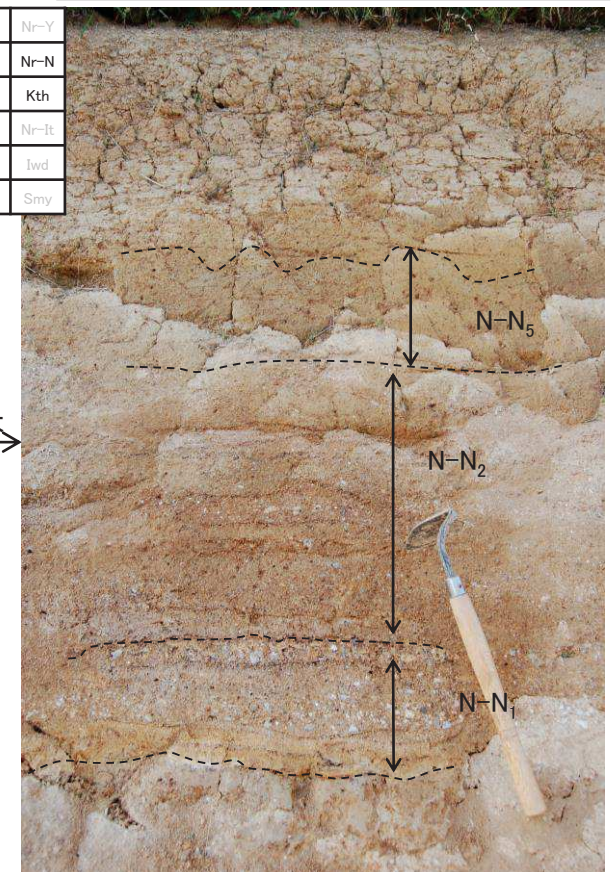
- 本露頭では、下位よりKth, Nr-Nが確認される。
- Nr-Nについては、N-N₁, N-N₂及びN-N₅が確認される。

露頭名	鳴子カルデラからの距離(km)	鳴子カルデラからの方位角(°)	最大層厚(cm)		
			N-N ₁	N-N ₂	N-N ₅
①	31.72	96.79	11	31	18



鳴子柳沢	Nr-Y
鳴子荷坂	Nr-N
北原	Kth
鳴子一迫	Nr-It
岩出山	Iwd
下山里	Smy

拡大



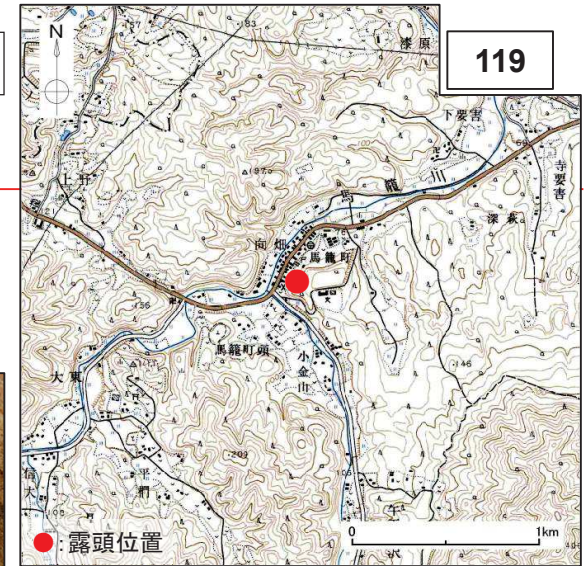
凡例	
表土	鳴子荷坂 { N-N ₅ (green), N-N ₂ (blue), N-N ₁ (red)
ローム	
火山灰	
凝灰岩	北原 : Kth (gray)

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

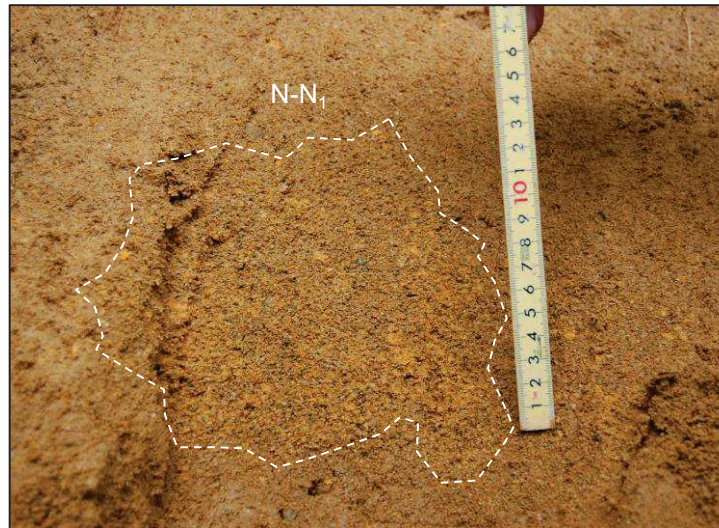
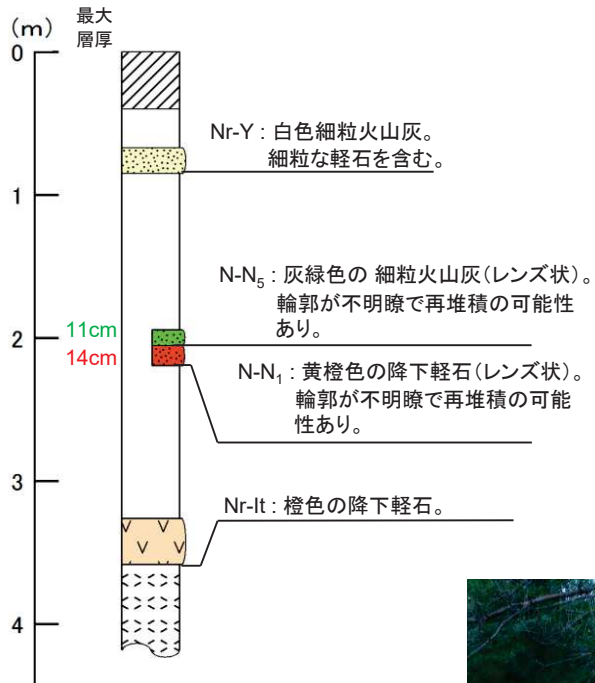
3.1.4 鳴子荷坂の詳細検討【露頭調査:④地点(馬籠)①】

第446回審査会合(H29.2.24)
資料1-1 p114 再掲



- 本露頭では、下位よりNr-It, Nr-N, Nr-Yが確認される。
- Nr-Nについては、N-N₁及びN-N₅が確認される。

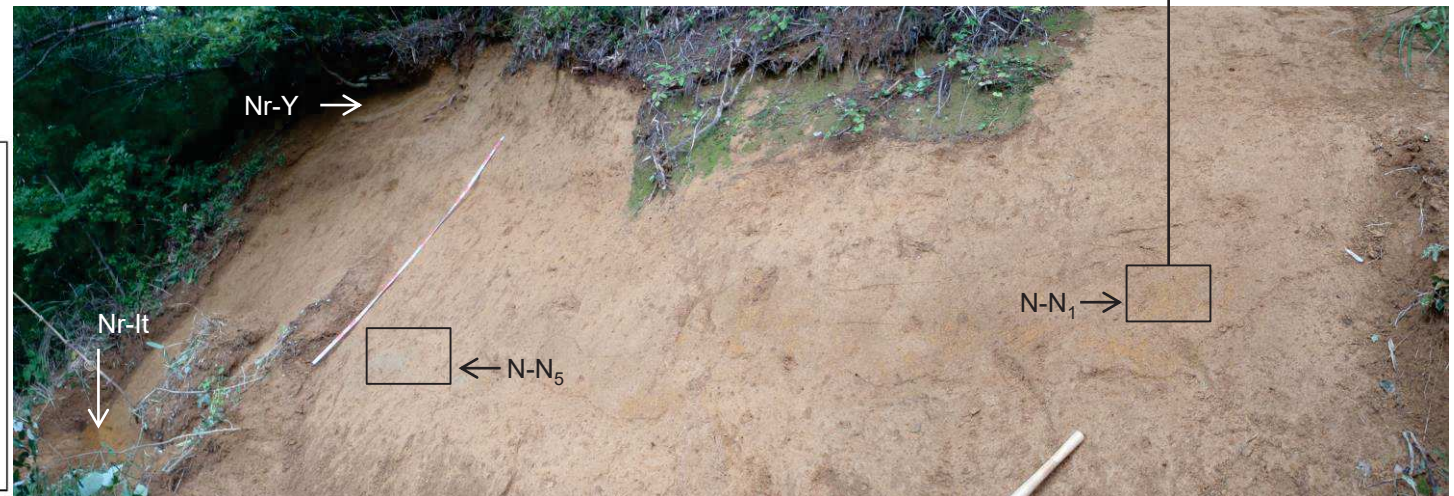
露頭名	鳴子カルデラからの距離(km)	鳴子カルデラからの方位角(°)	最大層厚(cm)		
			N-N ₁	N-N ₂	N-N ₅
④	62.08	85.06	14	—	11



掘削し、鉛直面を撮影

鳴子柳沢	Nr-Y
鳴子荷坂	Nr-N
北原	Kth
鳴子一迫	Nr-It
岩出山	Iwd
下山里	Smy

凡例	
表土	鳴子柳沢 Nr-Y
ローム	鳴子荷坂 { N-N ₅ N-N ₁ }
火山灰	鳴子一迫: Nr-It
軽石層	
凝灰岩	
レンズ状	



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

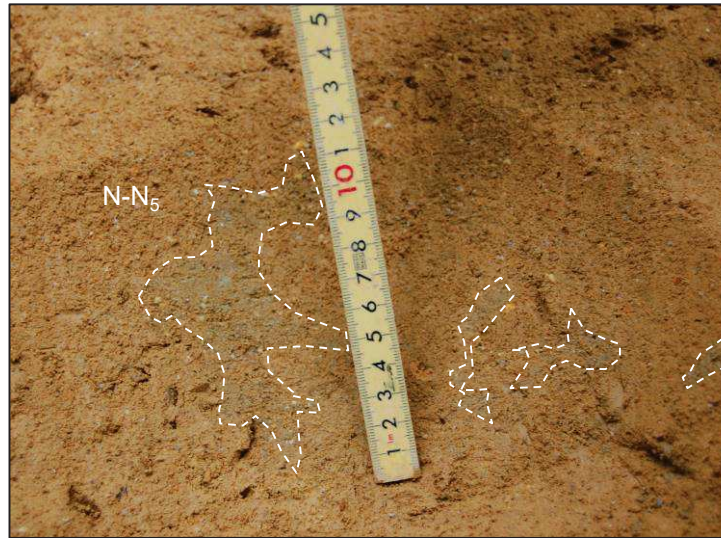
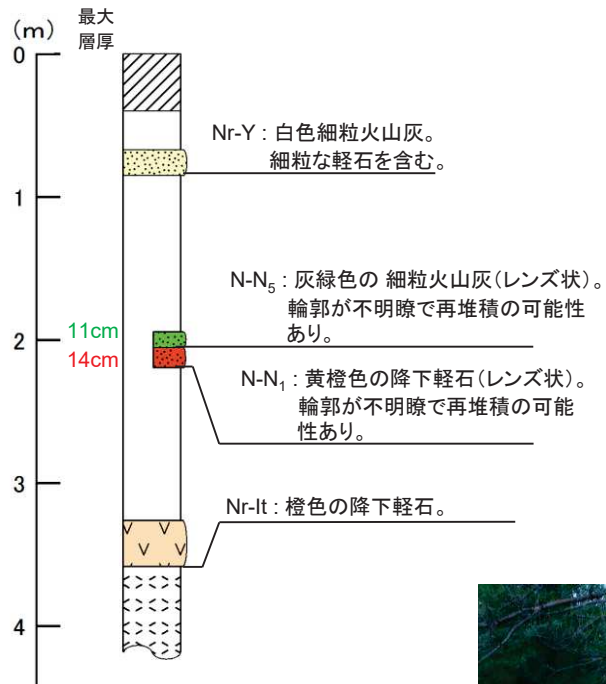
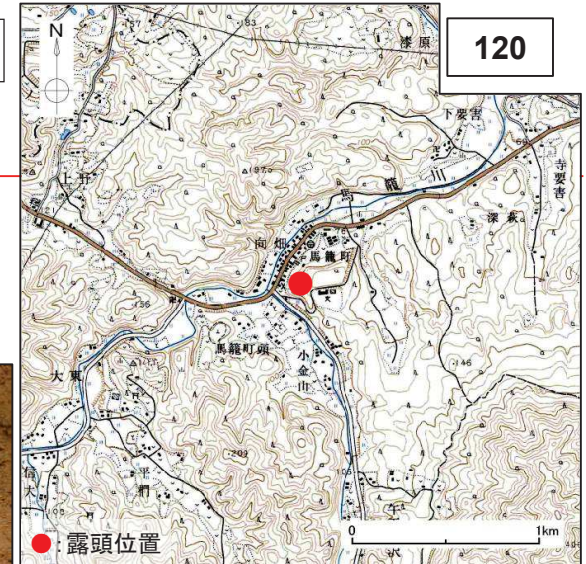
3.1.4 鳴子荷坂の詳細検討【露頭調査:④地点(馬籠)②】

第446回審査会合(H29.2.24)
資料1-1 p115 再掲

まごめ

- 本露頭では、下位よりNr-It, Nr-N, Nr-Yが確認される。
- Nr-Nについては、N-N₁及びN-N₅が確認される。

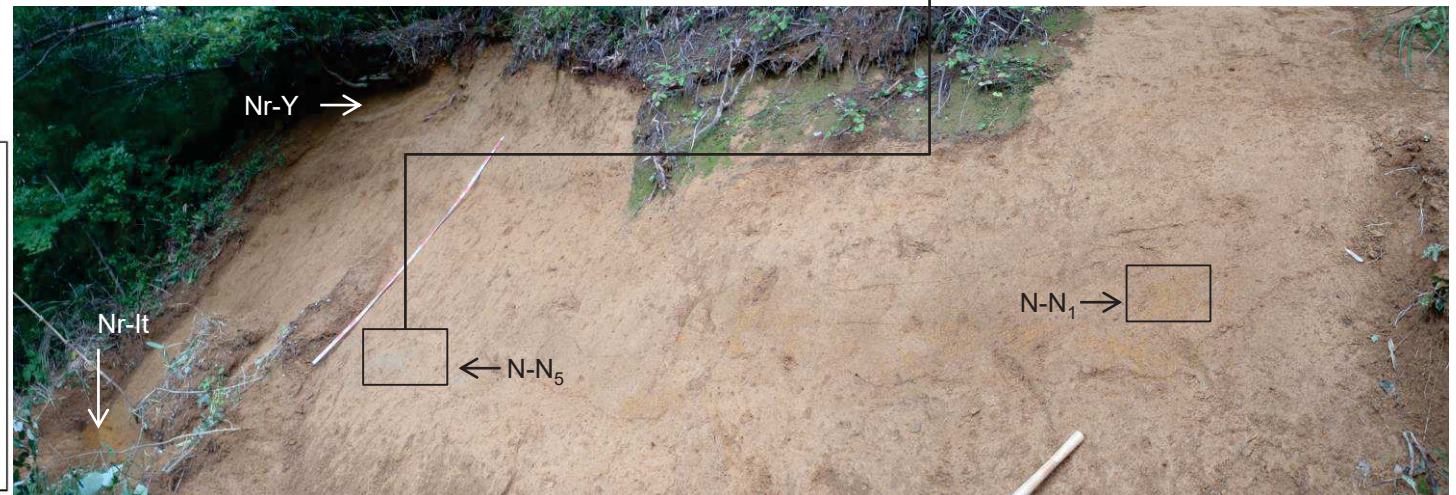
露頭名	鳴子カルデラからの距離(km)	鳴子カルデラからの方位角(°)	最大層厚(cm)		
			N-N ₁	N-N ₂	N-N ₅
④	62.08	85.06	14	—	11



掘削し、鉛直面を撮影

鳴子柳沢	Nr-Y
鳴子荷坂	Nr-N
北原	Kth
鳴子一迫	Nr-It
岩出山	Iwd
下山里	Smy

凡例	
表土	鳴子柳沢 Nr-Y
ローム	鳴子荷坂 { N-N ₅ N-N ₁
火山灰	鳴子一迫: Nr-It
軽石層	
凝灰岩	
レンズ状	

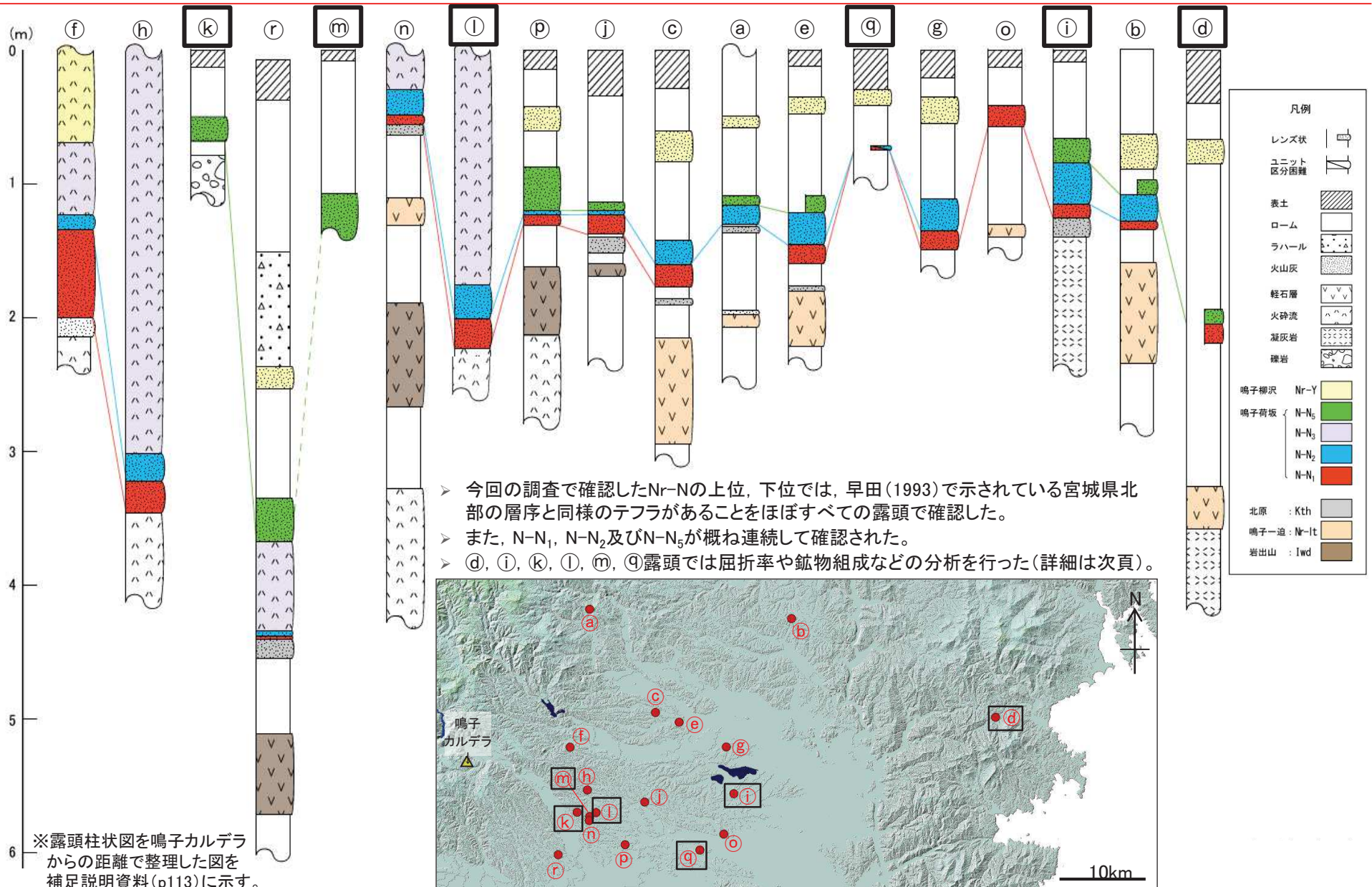


3. 原子力発電所に影響を及ぼし得る火山事象の抽出

3.1 降下火砕物の影響評価

3.1.4 鳴子荷坂の詳細検討 【露頭調査:露頭柱状図】

□: 屈折率等の分析を行った露頭(詳細は次頁)



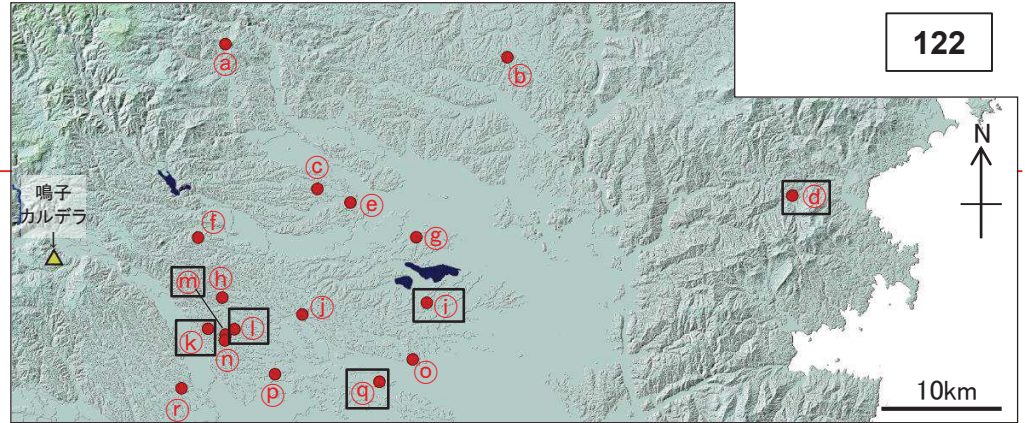
3. 原子力発電所に影響を及ぼし得る火山事象の抽出

3.1 降下火砕物の影響評価

3.1.4 鳴子荷坂の詳細検討【露頭調査:屈折率測定結果】

第446回審査会合
(H29.2.24)
資料1-1 p117 再掲

- ④, ①, ③, ④, ⑤, ⑥露頭で、ガラス及び斜方輝石の屈折率測定等を行った(鉱物組成の分析結果及び顕微鏡写真を補足説明資料(p114-123)に示す)。
- その結果、いずれも町田・新井(2011)で示されている範囲と一致していることを確認した。
- 以上により、今回の調査で確認した火山灰は、Nr-Nであると判断される。



露頭名	鳴子カルデラとの位置関係		N-N ₁		N-N ₂		N-N ₅	
	距離(km)	方位角(°)	ガラスの屈折率※2	斜方輝石の屈折率※2	ガラスの屈折率※2	斜方輝石の屈折率※2	ガラスの屈折率※2	斜方輝石の屈折率※2
③	14.59	114.49	火山灰は確認されない		火山灰は確認されない		火山灰は確認されない	
⑤	16.18	113.90	火山灰は確認されない		火山灰は確認されない		火山灰は確認されない	
④	16.63	111.39	火山灰は確認されない		火山灰は確認されない		火山灰は確認されない	
⑥※1	29.51	110.72	火山灰は確認されない		火山灰は確認されない		火山灰は確認されない	
①	31.72	96.79	火山灰は確認されない		火山灰は確認されない		火山灰は確認されない	
④	62.08	85.06	火山灰は確認されない		火山灰は確認されない		火山灰は確認されない	

※1 ⑥は、N-N₁とN-N₂の区分が困難であったことから、上表ではN-N₁とN-N₂に同じ分析結果を記載している。 ※2 町田・新井(2011)で示されるNr-Nの屈折率は赤で示す範囲。

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 鳴子荷坂の詳細検討【露頭調査:まとめ】

- 広範囲にわたって露頭調査を行い、18箇所の露頭でNr-Nと考えられる火山灰を確認した。
- 早田(1993)で示される模式柱状図との対比、ガラスの屈折率、斜方輝石の屈折率等から、確認した火山灰はNr-Nであると判断される。
- 確認されたNr-Nは、詳細な観察結果から、早田(1989)と同様に、N-N₁、N-N₂、N-N₃、N-N₄及びN-N₅の5つに区分され、N-N₁、N-N₂及びN-N₅は降下火砕物、N-N₃は火砕流堆積物(N-N₄を含む)であると判断される。
- 文献調査の結果から、10箇所でN-N₁、N-N₂及びN-N₅に該当する層厚を確認した。



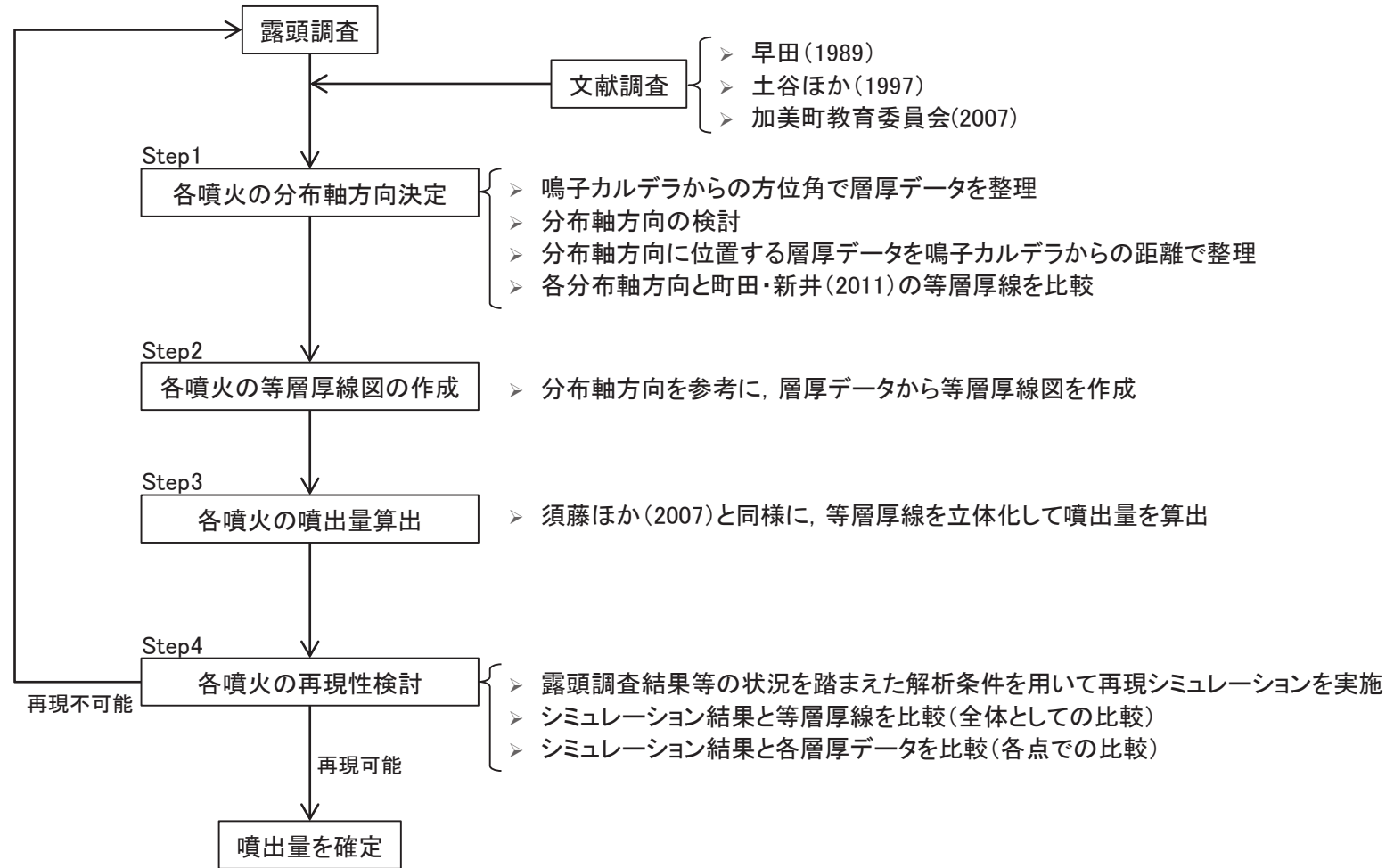
降下火山灰であるN-N₁、N-N₂及びN-N₅について、それぞれ分布軸方向を検討した上で、等層厚線図を作成し、それぞれ再現可能な噴出量を算出する。

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

3.1.4 鳴子荷坂の詳細検討【噴出量の検討】

➤ 今回実施した露頭調査結果及び文献調査結果から得られた層厚を基に噴出量を算定するフローを以下に示す。



3. 原子力発電所に影響を及ぼし得る火山事象の抽出

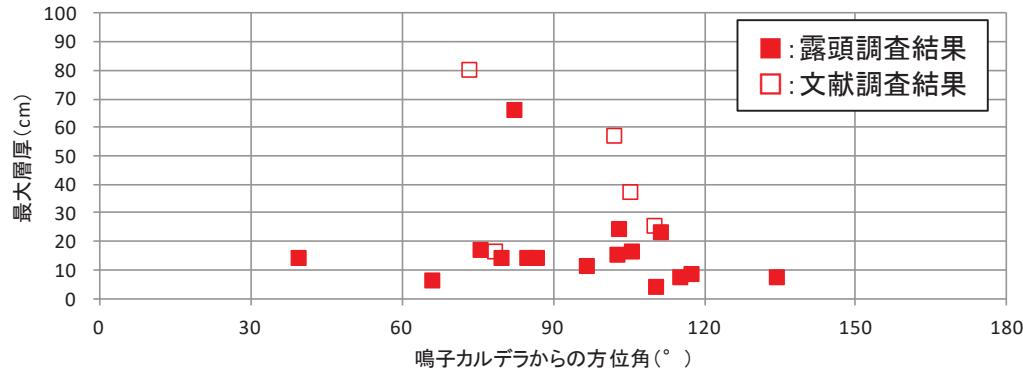
3.1 降下火砕物の影響評価

3.1.4 鳴子荷坂の詳細検討

第446回審査会合 (H29.2.24)
資料1-1 p121 再掲

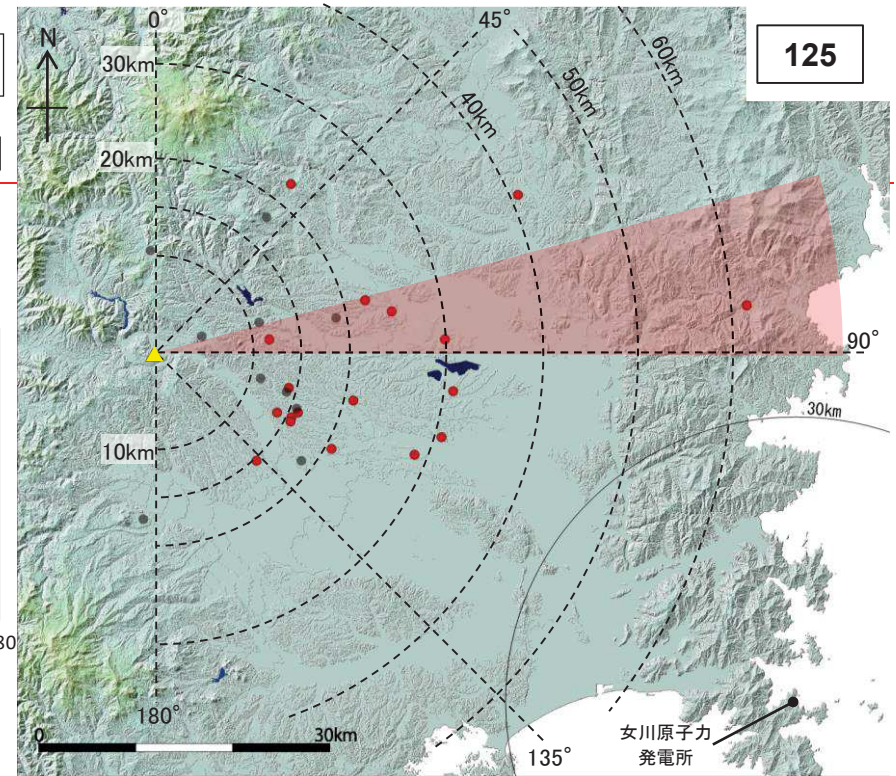
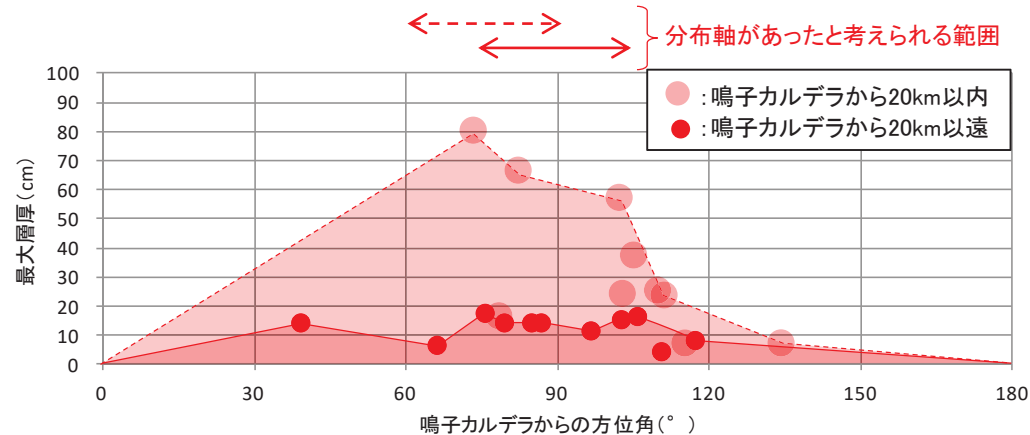
【噴出量の検討: Step1 (N-N₁の分布軸方向検討①)】

- N-N₁を対象にした鳴子カルデラからの方位角と最大層厚の関係を下図に示す。
- 60~120° の方向にN-N₁が集中していることが確認される。



次に、方位角と最大層厚の係に、鳴子カルデラからの距離(20km以内と以遠)の関係を加えて整理を行った。

- 鳴子カルデラからの距離が20km以内のデータ(下図の点線)では、おおよそ60~90° 付近に降下火砕物の分布軸があったと考えられる。
- また、鳴子カルデラからの距離が20km以遠のデータ(下図の実線)をみると、おおよそ75~105° に降下火砕物の分布軸があったと考えられる。



これらを踏まえると、N-N₁はおおよそ75~90° 方向に分布軸があったと考えられる。

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

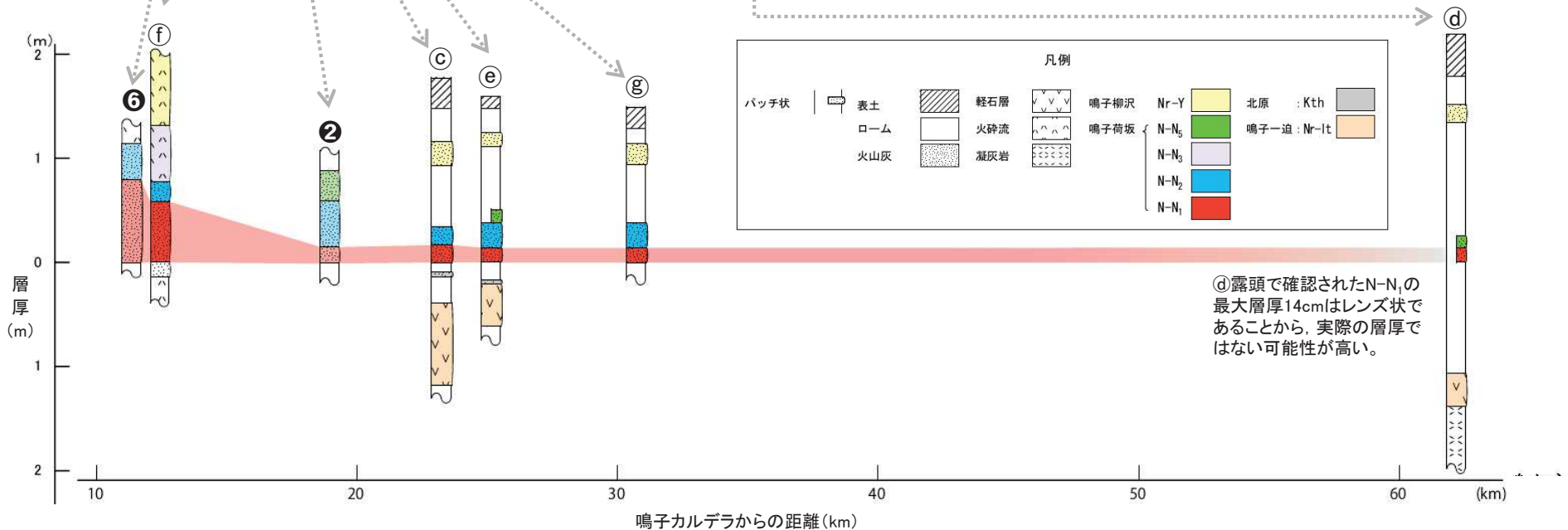
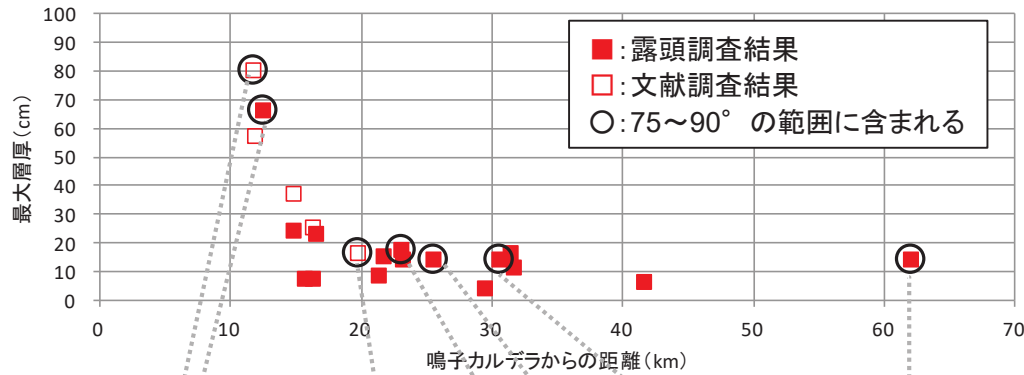
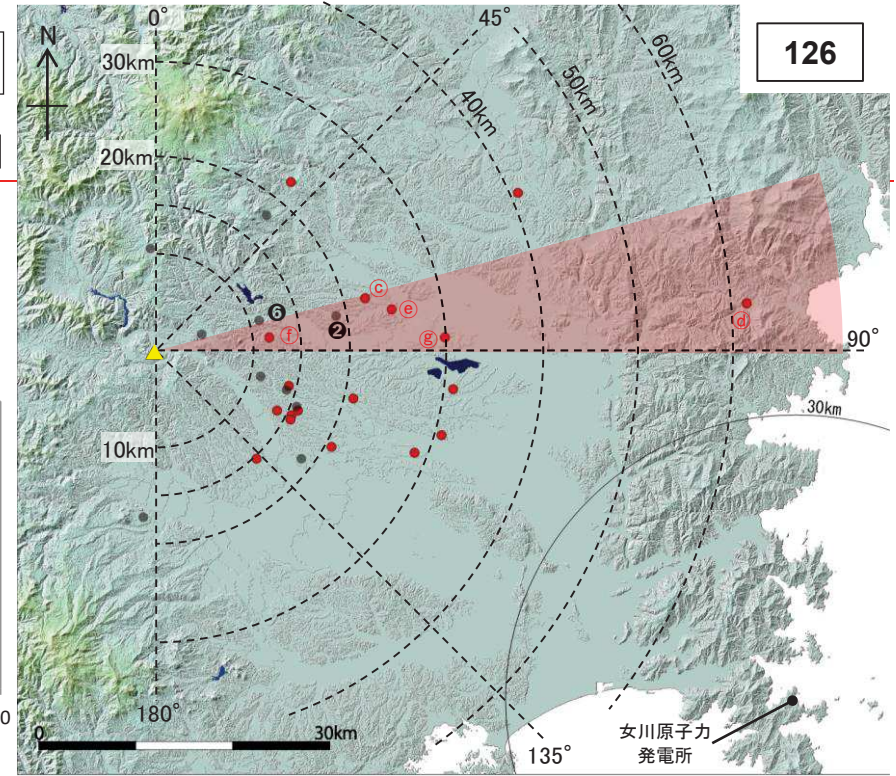
3.1.4 鳴子荷坂の詳細検討

【噴出量の検討: Step1 (N-N₁の分布軸方向検討②)】

第446回審査会合 (H29.2.24)
資料1-1 p122 再掲

126

- N-N₁を対象にした鳴子カルデラからの距離と最大層厚の関係は、下図のとおりである。
- また、N-N₁分布軸方向はおおよそ75~90°の範囲であったと考えられることから、この範囲に含まれる層厚を黒丸で示す。



3. 原子力発電所に影響を及ぼし得る火山事象の抽出

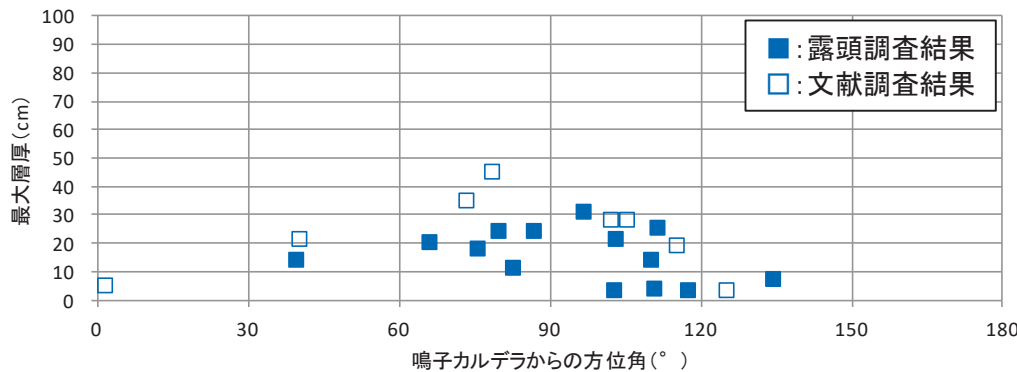
3.1 降下火砕物の影響評価

3.1.4 鳴子荷坂の詳細検討

第446回審査会合 (H29.2.24)
資料1-1 p123 再掲

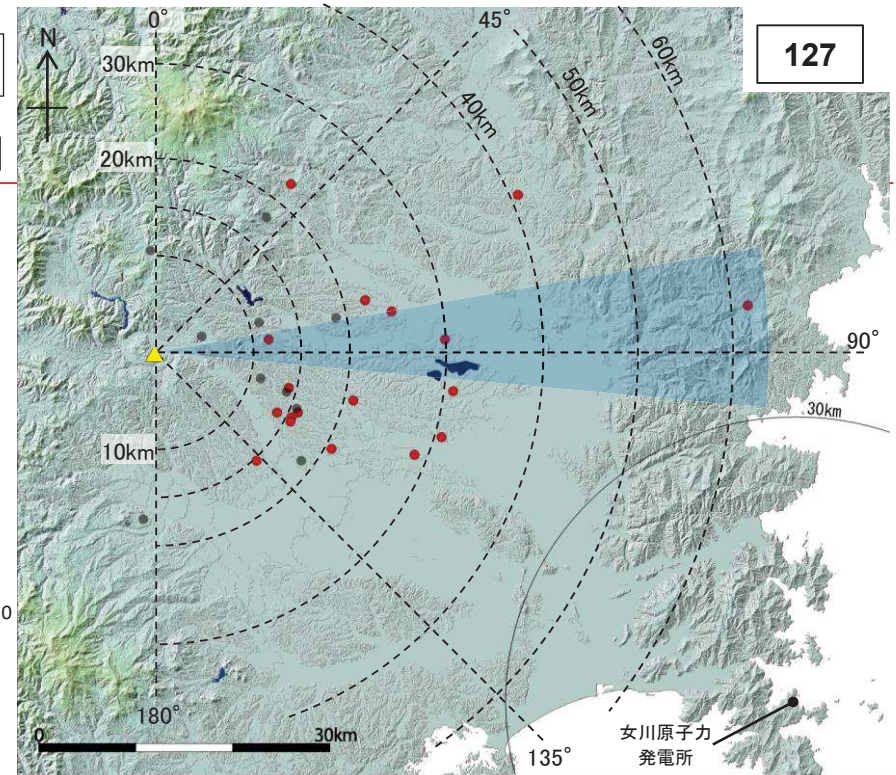
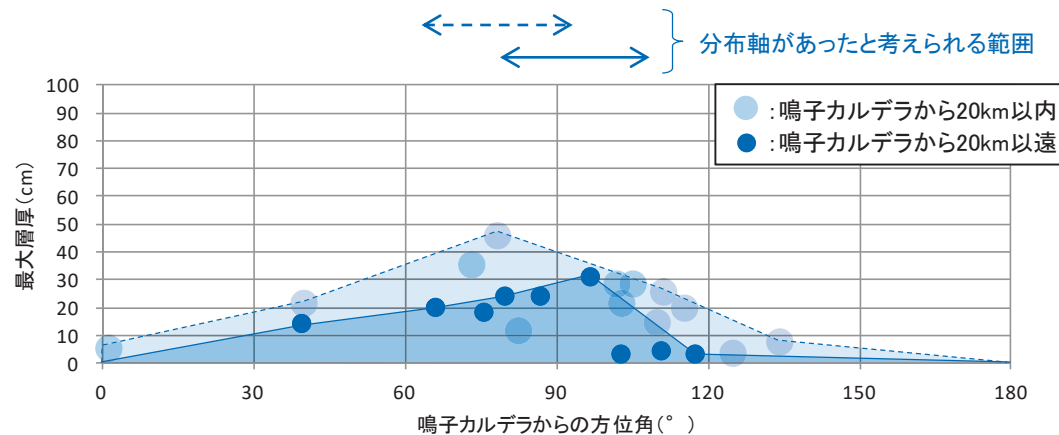
【噴出量の検討: Step1 (N-N₂の分布軸方向検討①)】

- N-N₂を対象にした鳴子カルデラからの方位角と最大層厚の関係を下図に示す。
- 60~120° の方向にN-N₂が集中していることが確認される。



次に、方位角と最大層厚の係に、鳴子カルデラからの距離(20km以内と以遠)の関係を加えて整理を行った。

- 鳴子カルデラからの距離が20km以内のデータ(下図の点線)では、おおよそ65~95° 付近に降下火砕物の分布軸があったと考えられる。
- また、鳴子カルデラからの距離が20km以遠のデータ(下図の実線)をみると、おおよそ80~110° に降下火砕物の分布軸があったと考えられる。



これらを踏まえると、N-N₂はおおよそ80~95° 方向に分布軸があったと考えられる。

3. 原子力発電所に影響を及ぼし得る火山事象の抽出

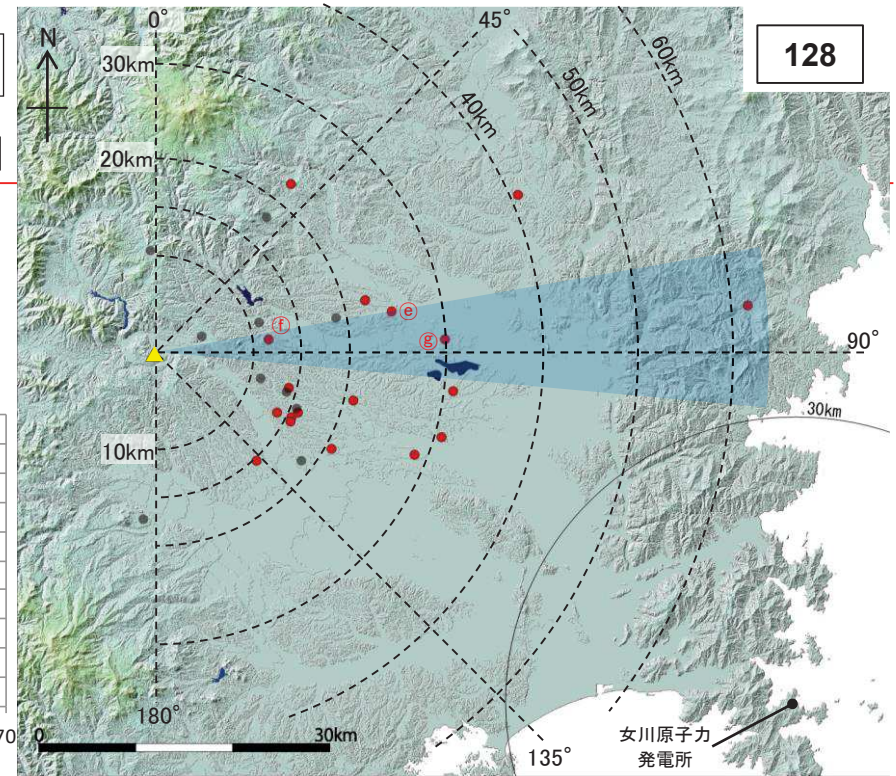
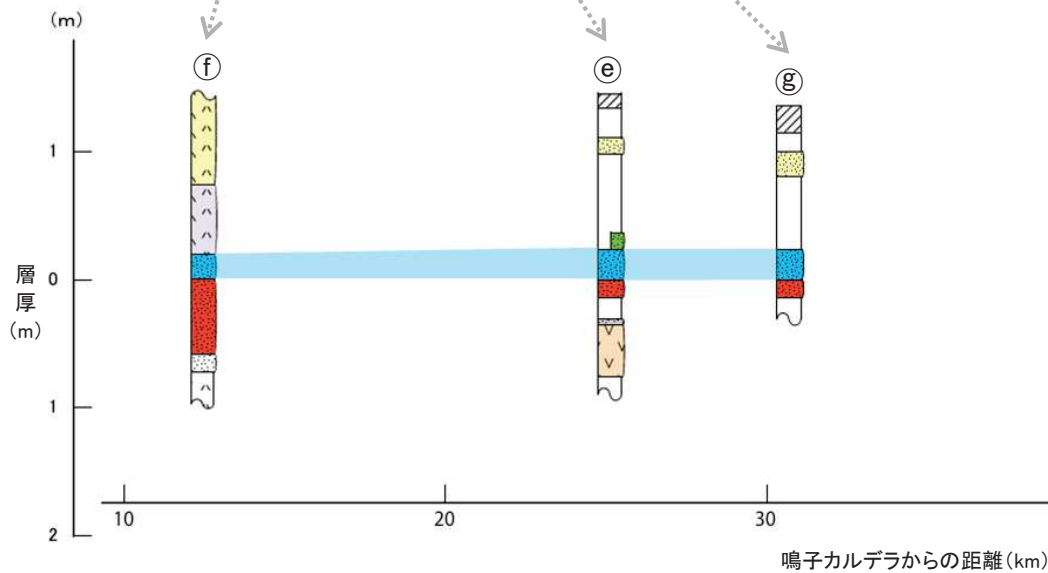
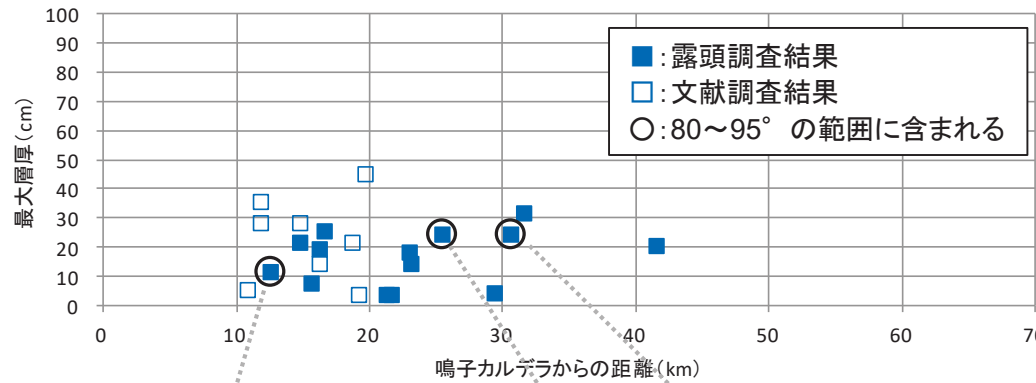
3.1 降下火砕物の影響評価

3.1.4 鳴子荷坂の詳細検討

第446回審査会合 (H29.2.24)
資料1-1 p124 再掲

【噴出量の検討: Step1 (N-N₂の分布軸方向検討②)】

- N-N₂を対象にした鳴子カルデラからの距離と最大層厚の関係は、下図のとおりである。
- また、N-N₂分布軸方向はおおよそ80~95°の範囲であったと考えられることから、この範囲に含まれる層厚を黒丸で示す。



凡例			
表土	鳴子柳沢	Nr-Y	北原 : Kth
ローム	鳴子荷坂	N-N ₅	鳴子一迫 : Nr-It
火山灰		N-N ₃	
軽石層		N-N ₂	
火砕流		N-N ₁	

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

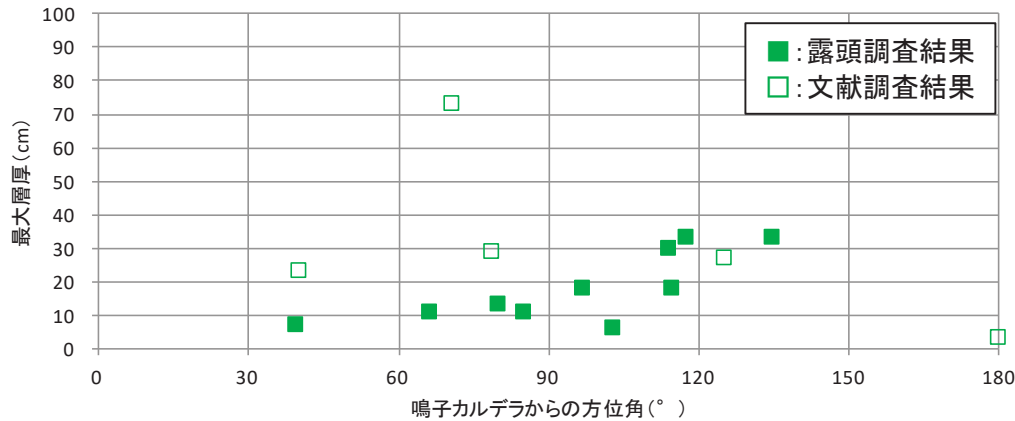
3.1.4 鳴子荷坂の詳細検討

【噴出量の検討: Step1 (N-N₅の分布軸方向検討①)】

第446回審査会合 (H29.2.24)
資料1-1 p125 再掲

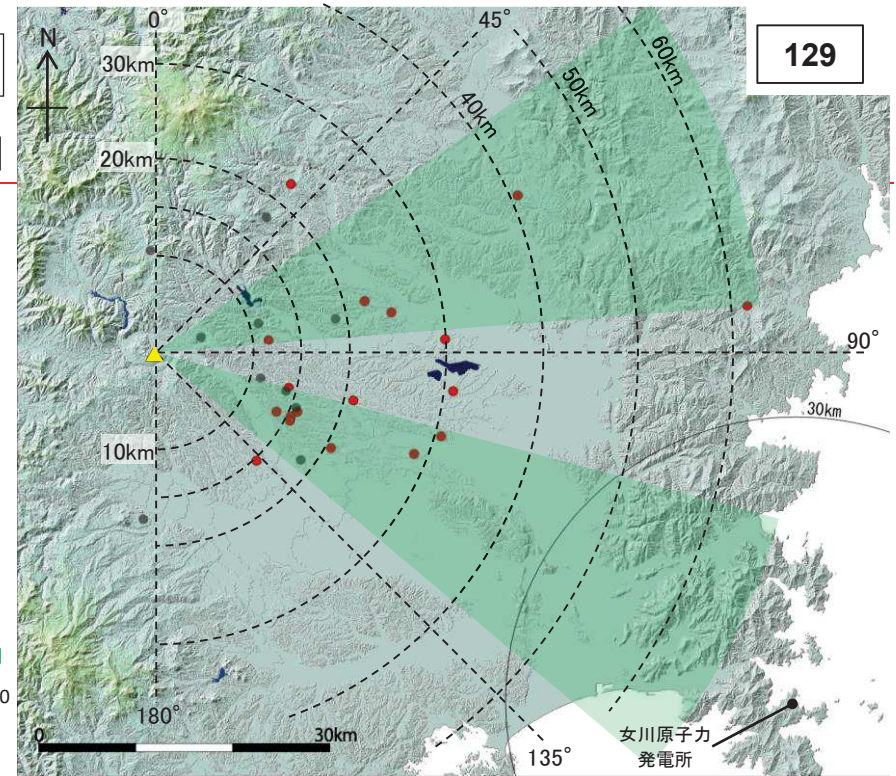
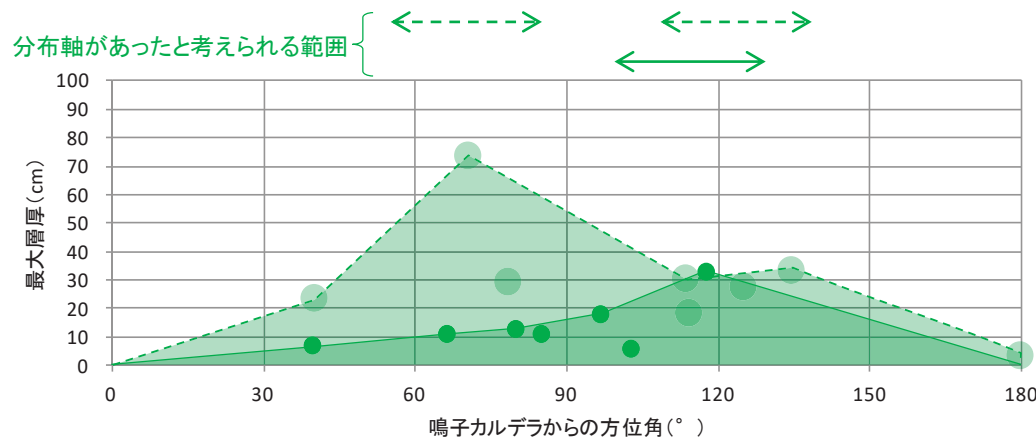
129

- N-N₅を対象にした鳴子カルデラからの方位角と最大層厚の関係を下図に示す。
- N-N₅は30~180° と広範囲に分布していることが確認される。



次に、方位角と最大層厚の係に、鳴子カルデラからの距離(20km以内と以遠)の係を加えて整理を行った。

- 鳴子カルデラからの距離が20km以内のデータ(下図の点線)では、おおよそ55~85° 付近と105~135° 付近の2方向に降下火砕物の分布軸があったと考えられる。
- また、鳴子カルデラからの距離が20km以遠のデータ(下図の実線)をみると、おおよそ100~130° に降下火砕物の分布軸があったと考えられる。



これらを踏まえると、N-N₅はおおよそ55~85° 方向と105~130° 方向の2方向に分布軸があったと考えられる。

- : 鳴子カルデラから20km以内
- : 鳴子カルデラから20km以遠

3. 原子力発電所に影響を及ぼし得る火山事象の抽出

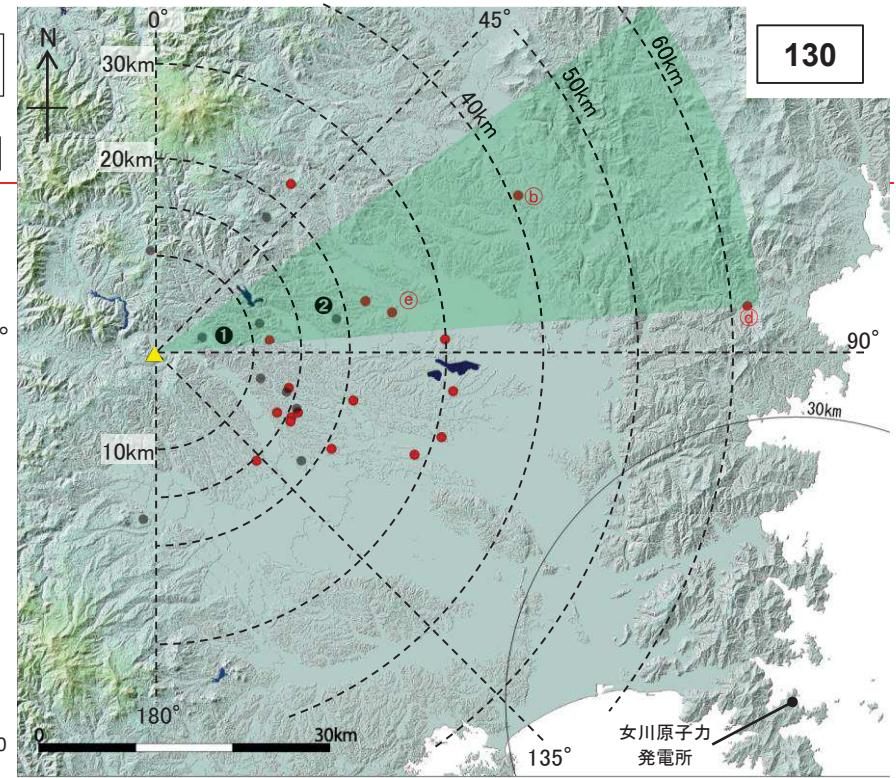
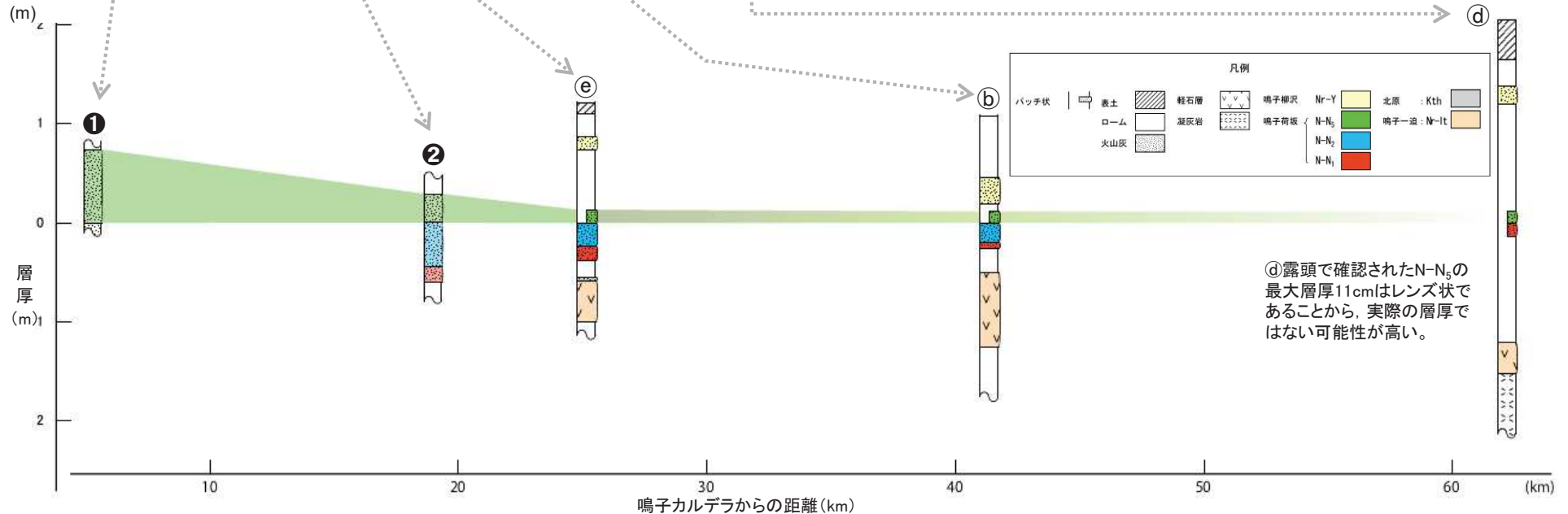
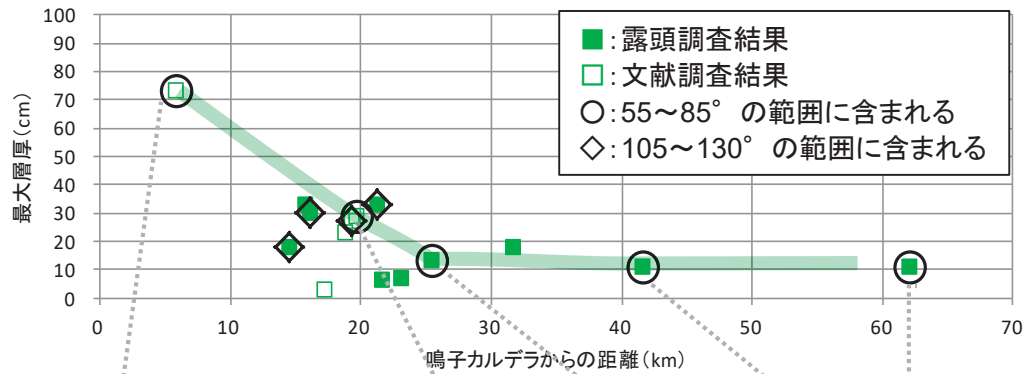
3.1 降下火砕物の影響評価

3.1.4 鳴子荷坂の詳細検討

第446回審査会合 (H29.2.24)
資料1-1 p126 再掲

【噴出量の検討: Step1 (N-N₅の分布軸方向検討②)】

- N-N₅を対象にした鳴子カルデラからの距離と最大層厚の関係は、下図のとおりである。
- また、N-N₅はおおよそ55~85° 方向とおおよそ105~130° 方向の2方向に分布軸があったと考えられることから、この範囲に含まれる層厚を黒丸と黒菱形で示す。



3. 原子力発電所に影響を及ぼし得る火山事象の抽出

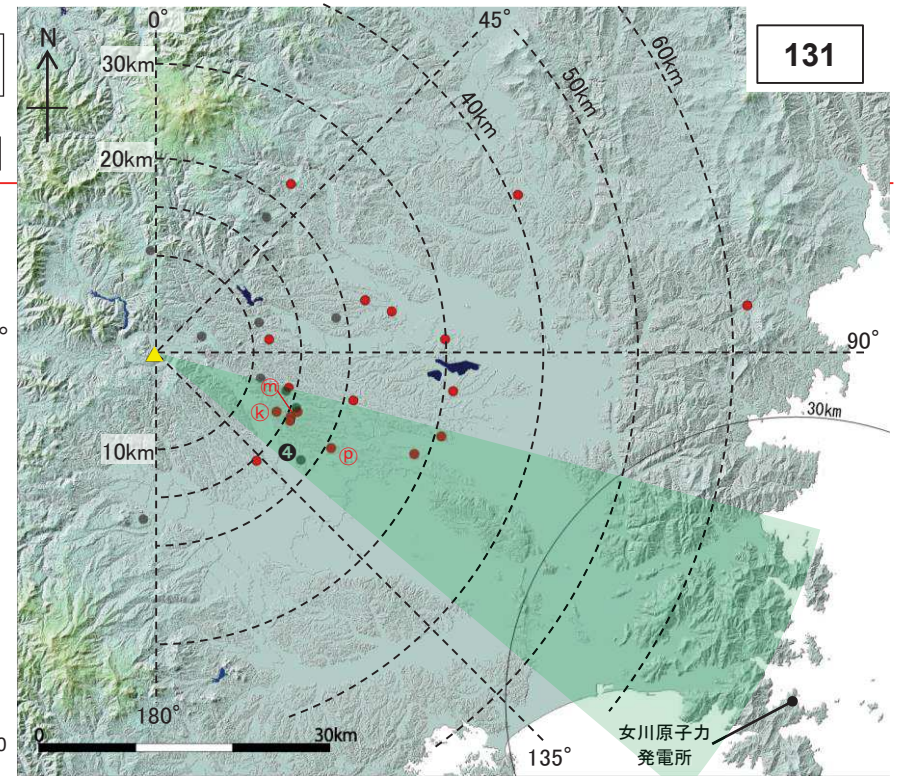
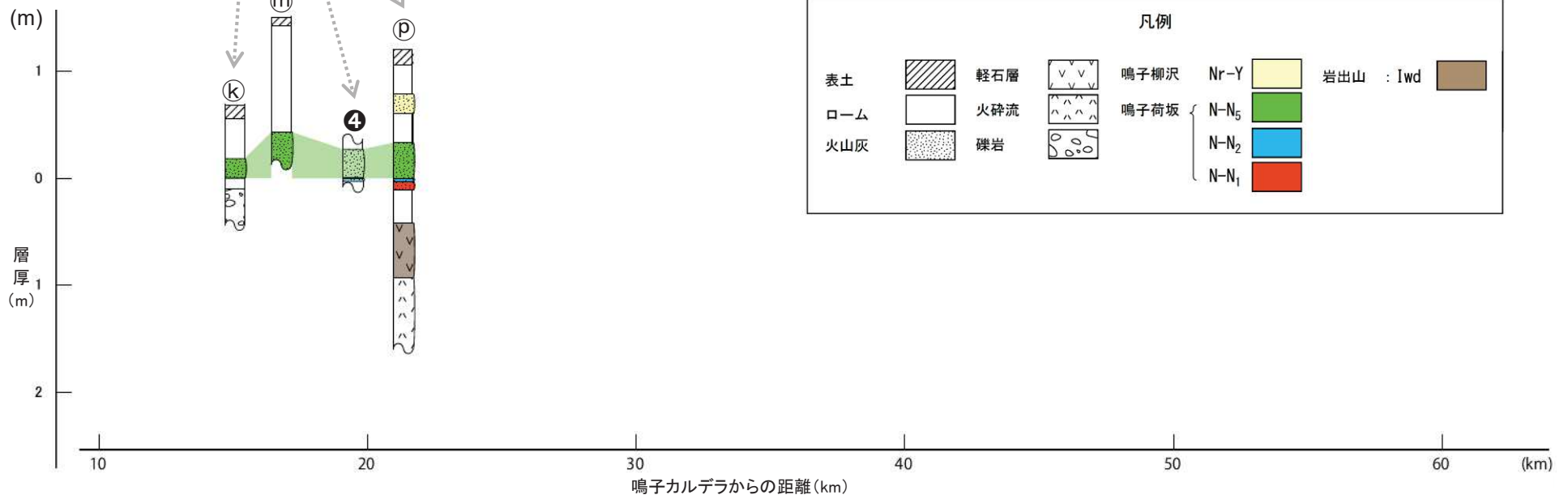
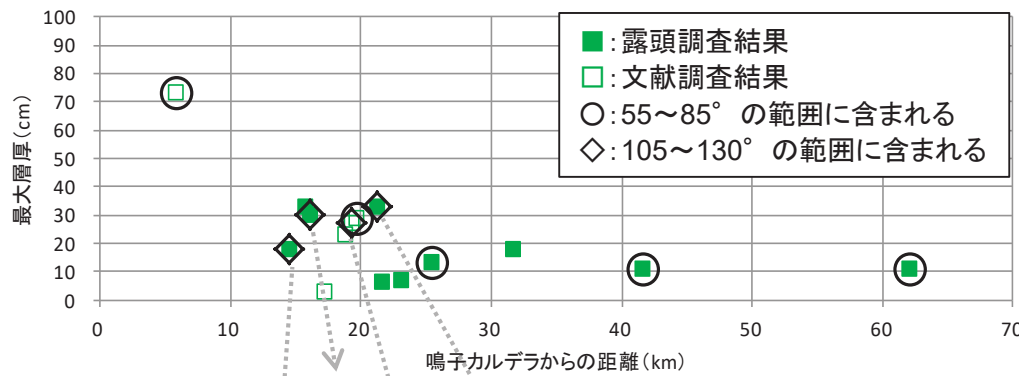
3.1 降下火砕物の影響評価

3.1.4 鳴子荷坂の詳細検討

第446回審査会合 (H29.2.24)
資料1-1 p127 再掲

【噴出量の検討: Step1 (N-N₅の分布軸方向検討③)】

- N-N₅を対象にした鳴子カルデラからの距離と最大層厚の関係は、下図のとおりである。
- また、N-N₅はおおよそ55~85° 方向とおおよそ105~130° 方向の2方向に分布軸があったと考えられることから、この範囲に含まれる層厚を黒丸と黒菱形で示す。

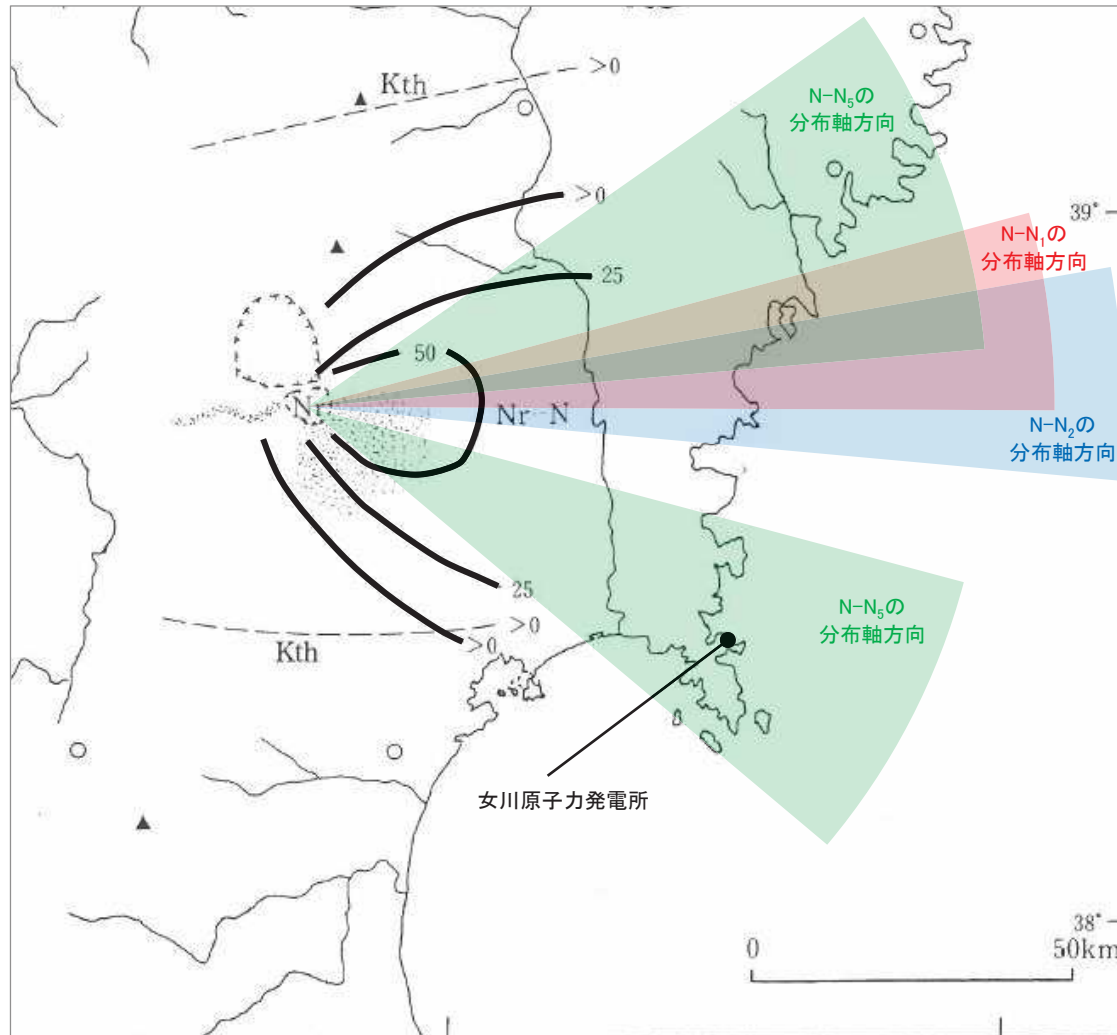


3. 原子力発電所に影響を及ぼし得る火山事象の抽出

3.1 降下火砕物の影響評価

3.1.4 鳴子荷坂の詳細検討【噴出量の検討: Step1 (町田・新井(2011))の等層厚線との比較①】

- 露頭調査及び文献調査を踏まえたN-N₁、N-N₂及びN-N₅の分布軸方向を合わせると、町田・新井(2011)の等層厚線と同様の分布範囲を示すことを確認した。



露頭・文献調査を踏まえたNr-Nの分布軸方向と町田・新井(2011)の等層厚線図の比較
(町田・新井(2011)に一部加筆)

一方、分布軸方向の検討結果から、N-N₁とN-N₂は概ね同じ方向を示している。



N-N₁とN-N₂については、一連の噴火により堆積したものとして考えることとする。
(以降、「N-N₁とN-N₂」を合わせたものをN-N_{1,2}という。)



【露頭調査結果】

- N-N₁とN-N₂は連続して堆積していることが確認された。
- 一部の露頭ではN-N₁とN-N₂の判別が困難な地点が確認された。

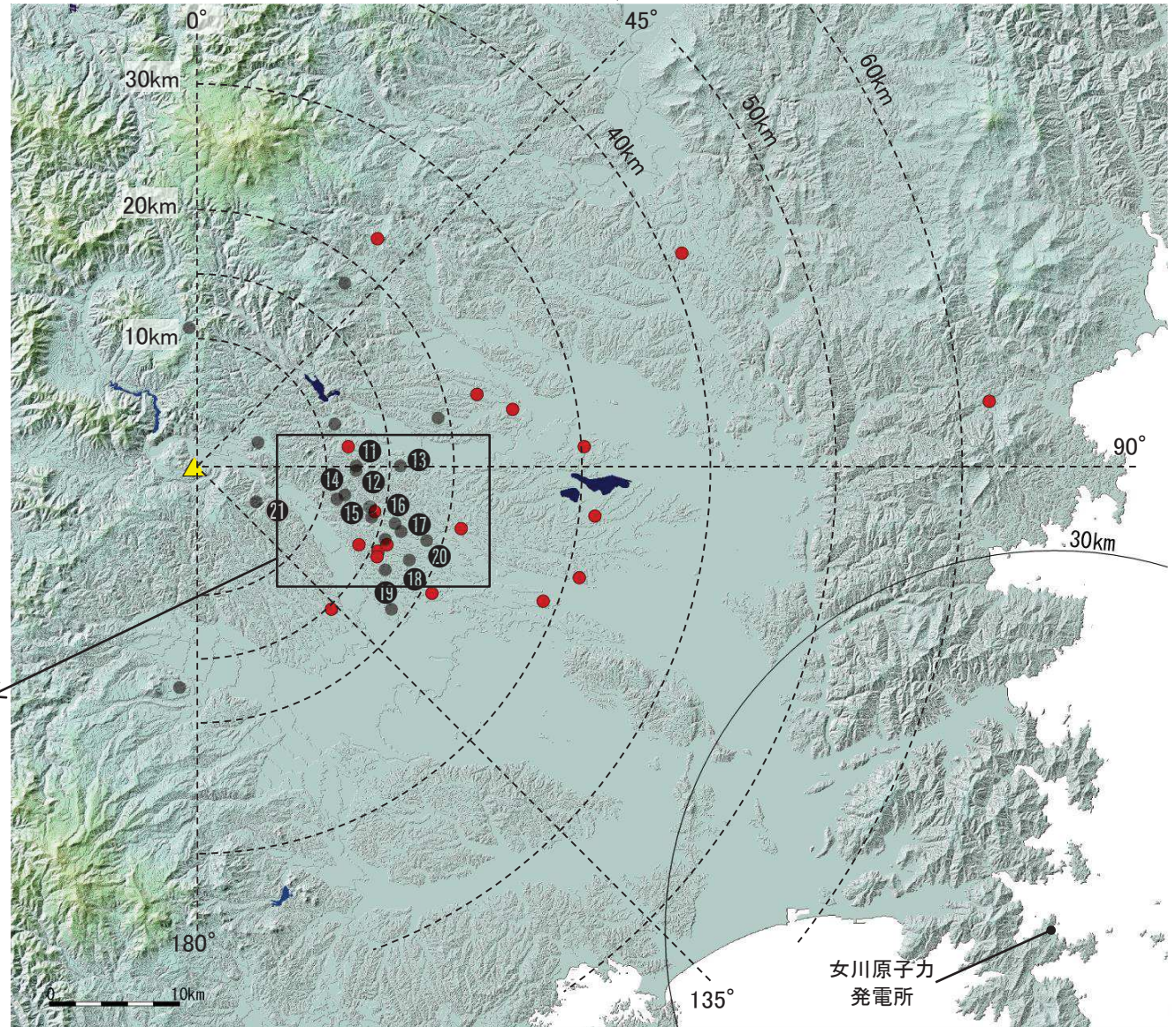
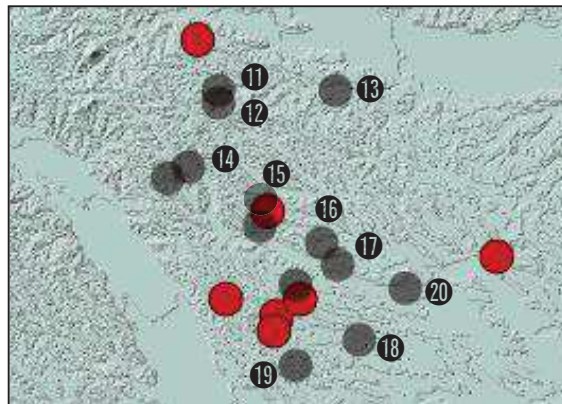
3. 原子力発電所に影響を及ぼし得る火山事象の抽出

3.1 降下火砕物の影響評価

3.1.4 鳴子荷坂の詳細検討 【噴出量の検討: Step1 (N-N_{1,2}の分布軸方向検討①)】

- N-N_{1,2}の分布軸方向の検討にあたり、さらに文献調査を行った結果、土谷ほか(1997)の層厚データを新たに加えることとした。
- 土谷ほか(1997)によれば、荷坂凝灰岩の基底部の降下火砕物の層厚分布が示されており、これらはN-N_{1,2}の層厚として考えられる(詳細は補足説明資料 p111,112に示す)。

本資料 での 露頭名	鳴子カルデラ からの 距離(km)	鳴子カルデラ からの 方位角(°)	最大層厚(cm)
			N-N _{1,2}
⑪	12.95	89.14	62
⑫	12.99	90.04	53
⑬	16.43	88.99	26
⑭	12.43	99.51	80
⑮	14.89	103.34	79
⑯	16.59	105.32	68
⑰	17.19	106.83	36
⑱	18.59	112.92	19
⑲	17.26	117.78	58
⑳	19.30	107.03	54
㉑	6.16	117.00	113



3. 原子力発電所に影響を及ぼし得る火山事象の抽出

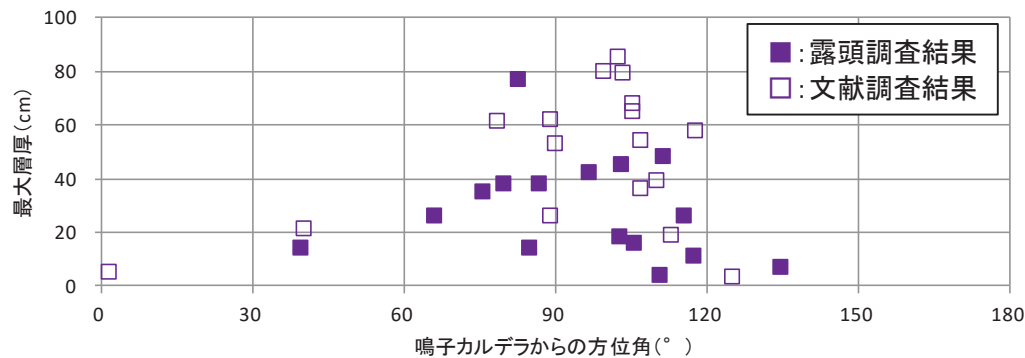
3.1 降下火砕物の影響評価

3.1.4 鳴子荷坂の詳細検討

【噴出量の検討: Step1 (N-N_{1,2}の分布軸方向検討②)】

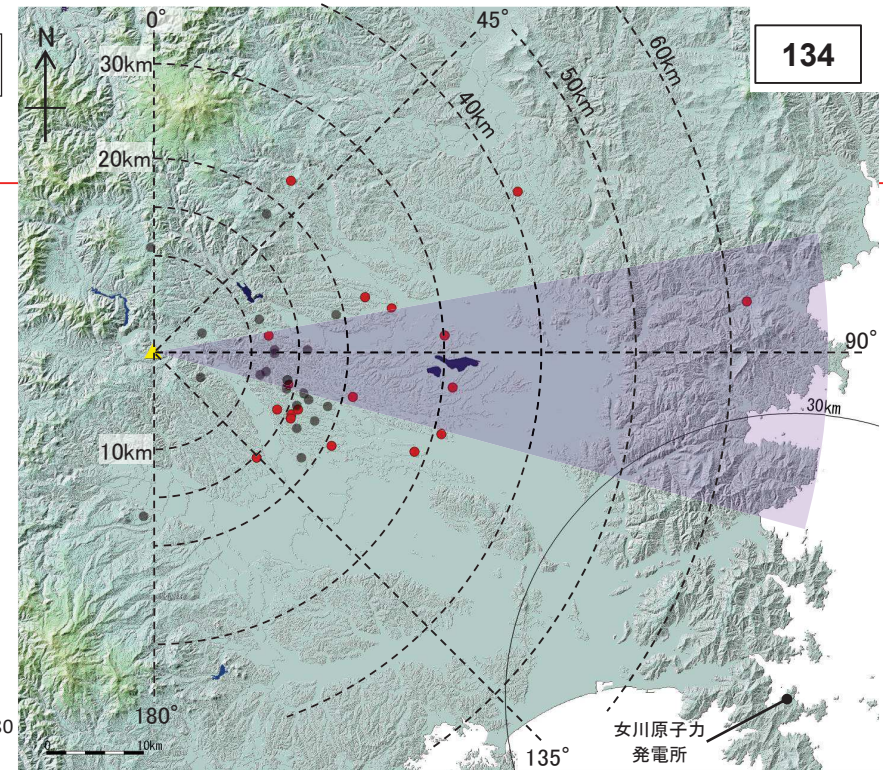
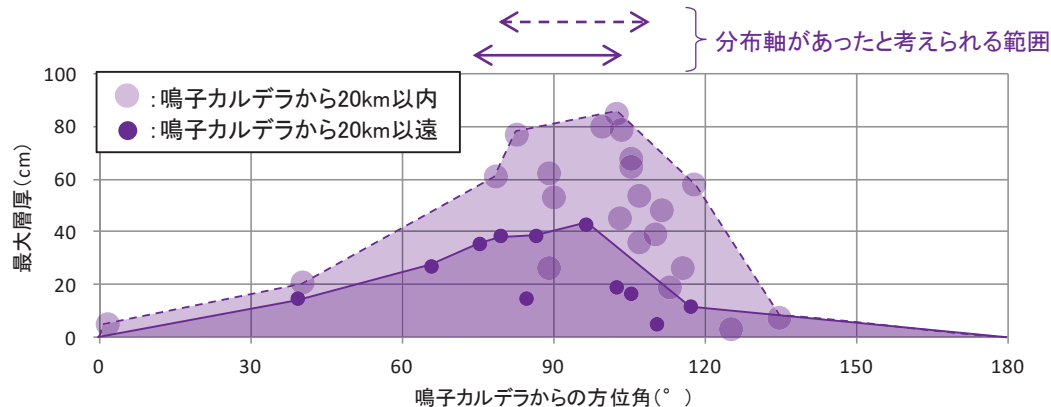
第446回審査会合 (H29.2.24)
資料1-1 p131 再掲

- 今回実施した露頭調査及び文献調査結果に、土谷ほか(1997)の層厚データも加え、改めて軸方向の検討を行った。
- 鳴子カルデラからの方位角と最大層厚の関係を下図に示す。
- 60~120° の方向にN-N_{1,2}が集中していることが確認される。



次に、方位角と最大層厚の關係に、鳴子カルデラからの距離(20km以内と以遠)の關係を加えて整理を行った。

- 鳴子カルデラからの距離が20km以内のデータ(下図の点線)では、80~110° 付近に降下火砕物の分布軸があったと考えられる。
- また、鳴子カルデラからの距離が20km以遠のデータ(下図の実線)をみると、75~105° 付近に降下火砕物の分布軸があったと考えられる。



これらを踏まえると、N-N_{1,2}は、おおよそ80~105° 方向に分布軸があったと考えられる。

3. 原子力発電所に影響を及ぼし得る火山事象の抽出

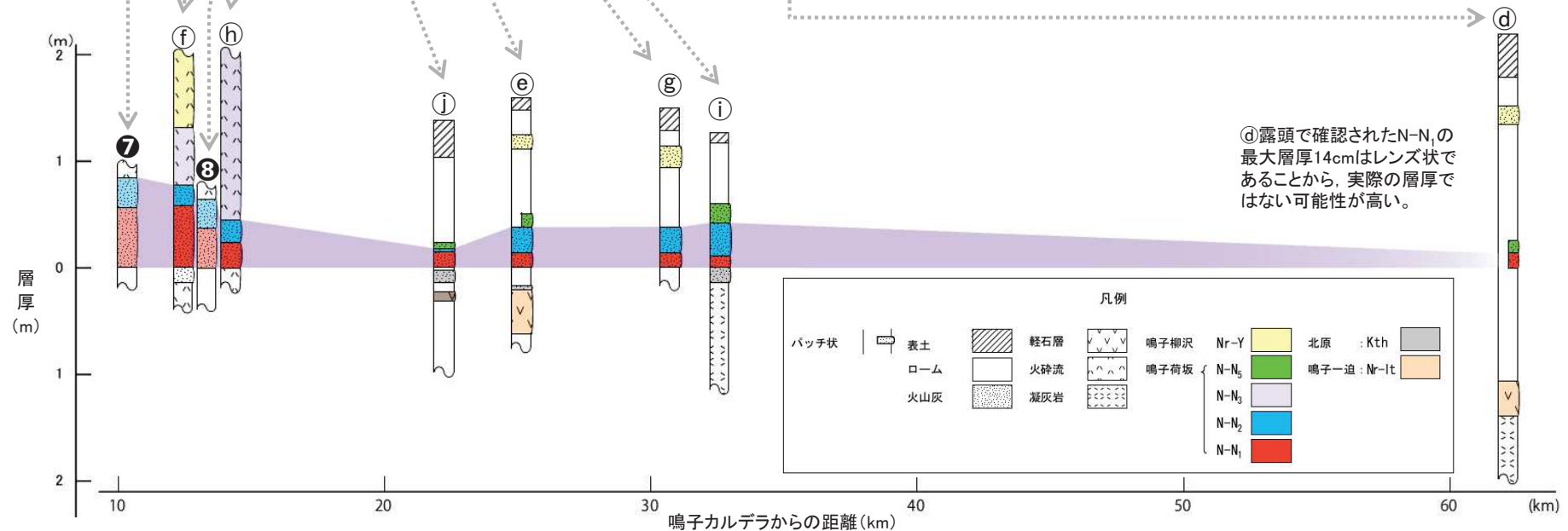
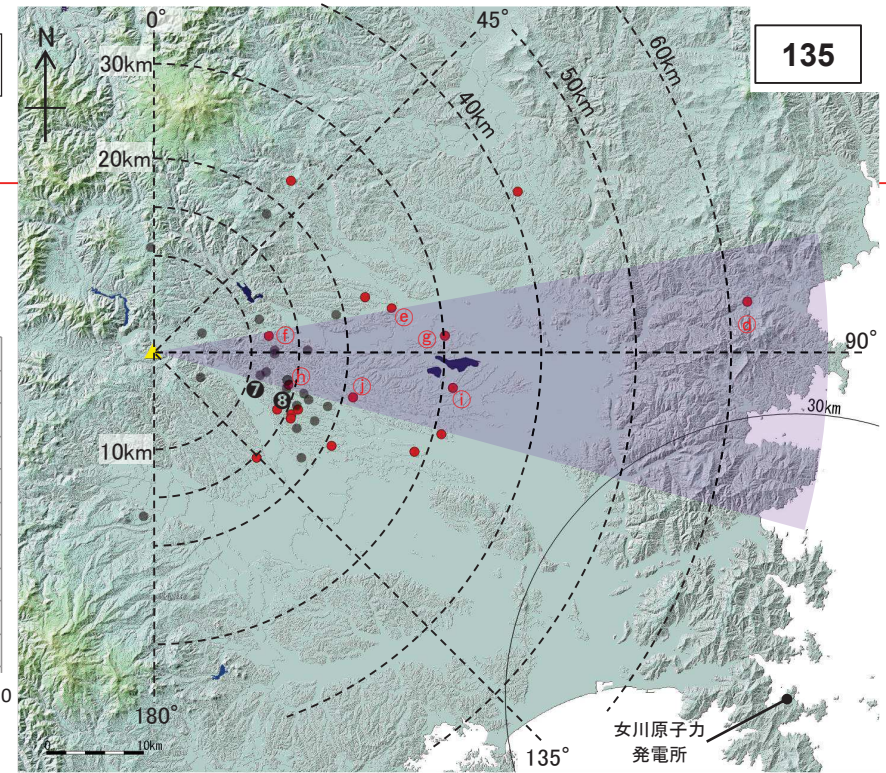
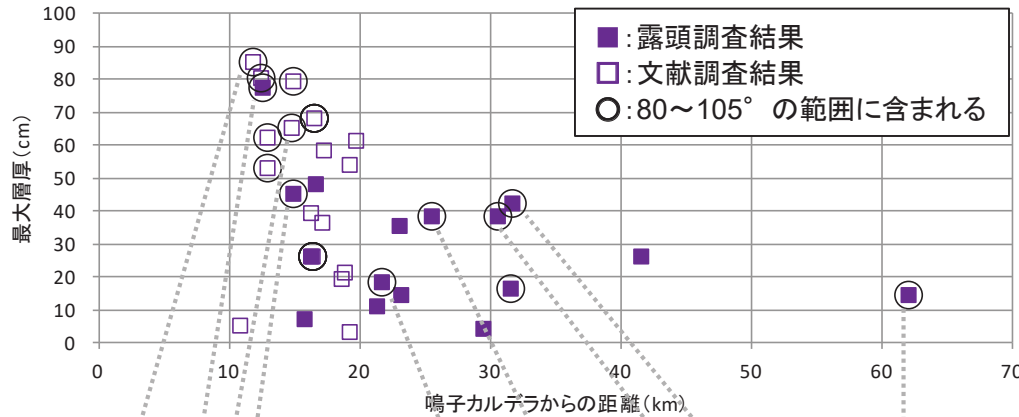
3.1 降下火砕物の影響評価

3.1.4 鳴子荷坂の詳細検討

【噴出量の検討: Step1 (N-N_{1,2}の分布軸方向検討③)】

第446回審査会合 (H29.2.24)
資料1-1 p132 再掲

- 鳴子カルデラからの距離と最大層厚の関係は、下図のとおりである。
- また、N-N_{1,2}は85~105°方向に分布軸の範囲があったと考えられることから、この範囲に含まれる露頭調査及び文献調査結果の層厚を黒丸で示す。

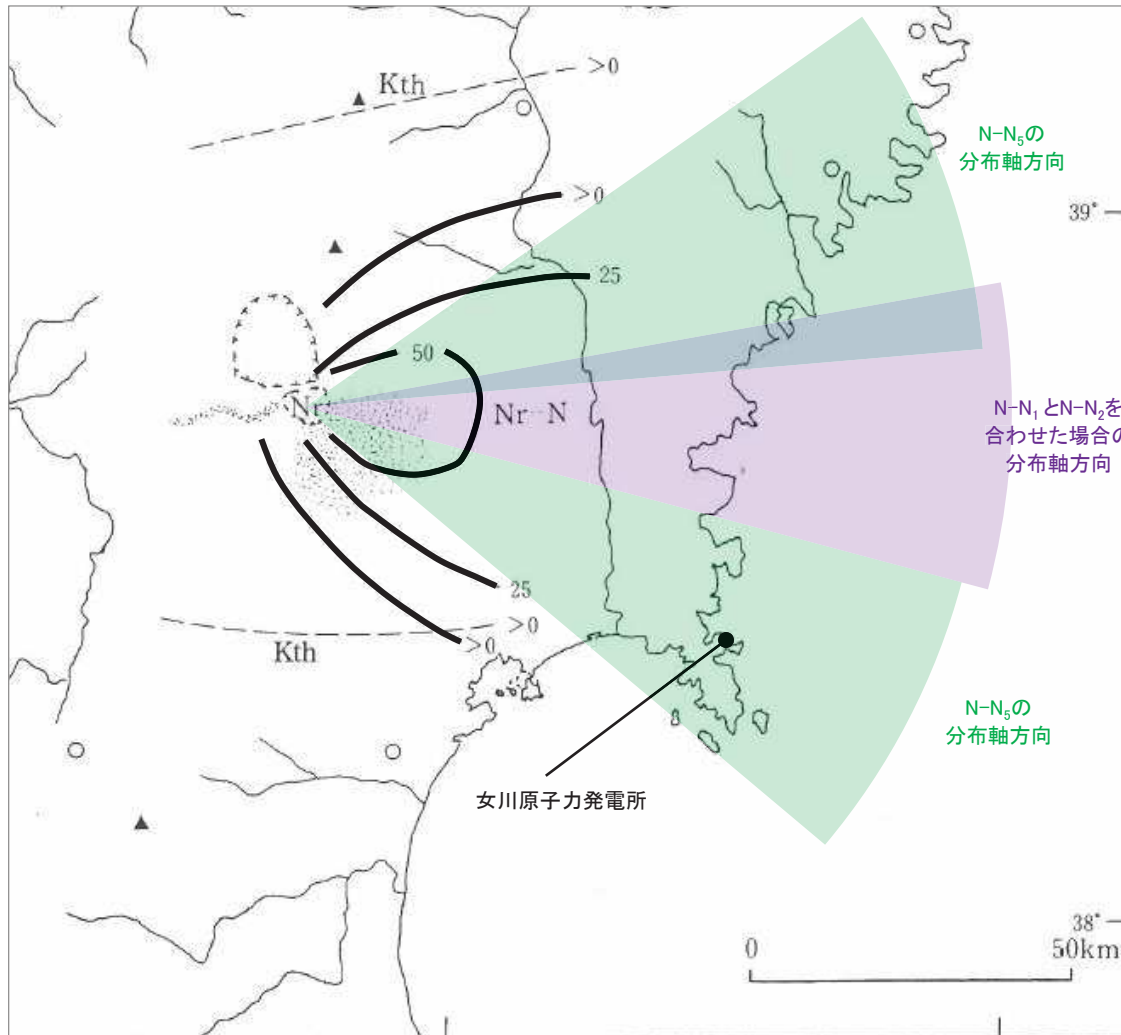


3. 原子力発電所に影響を及ぼし得る火山事象の抽出

3.1 降下火砕物の影響評価

3.1.4 鳴子荷坂の詳細検討【噴出量の検討: Step1(町田・新井(2011)の等層厚線との比較②)】

- N-N_{1,2}の分布軸方向を検討した結果とN-N₅の分布軸方向と合わせて町田・新井(2011)の等層厚線と比較し、N-N_{1,2}を用いてもこの等層厚線と整合することを確認した。



露頭・文献調査を踏まえたNr-Nの分布軸方向と町田・新井(2011)の等層厚線図の比較
(町田・新井(2011)に一部加筆)

Step1のまとめ

- N-N_{1,2}及びN-N₅の分布軸方向の妥当性が確認されたことから、この分布軸方向を参考に等層厚線図を作成し、噴出量を算定することとする。

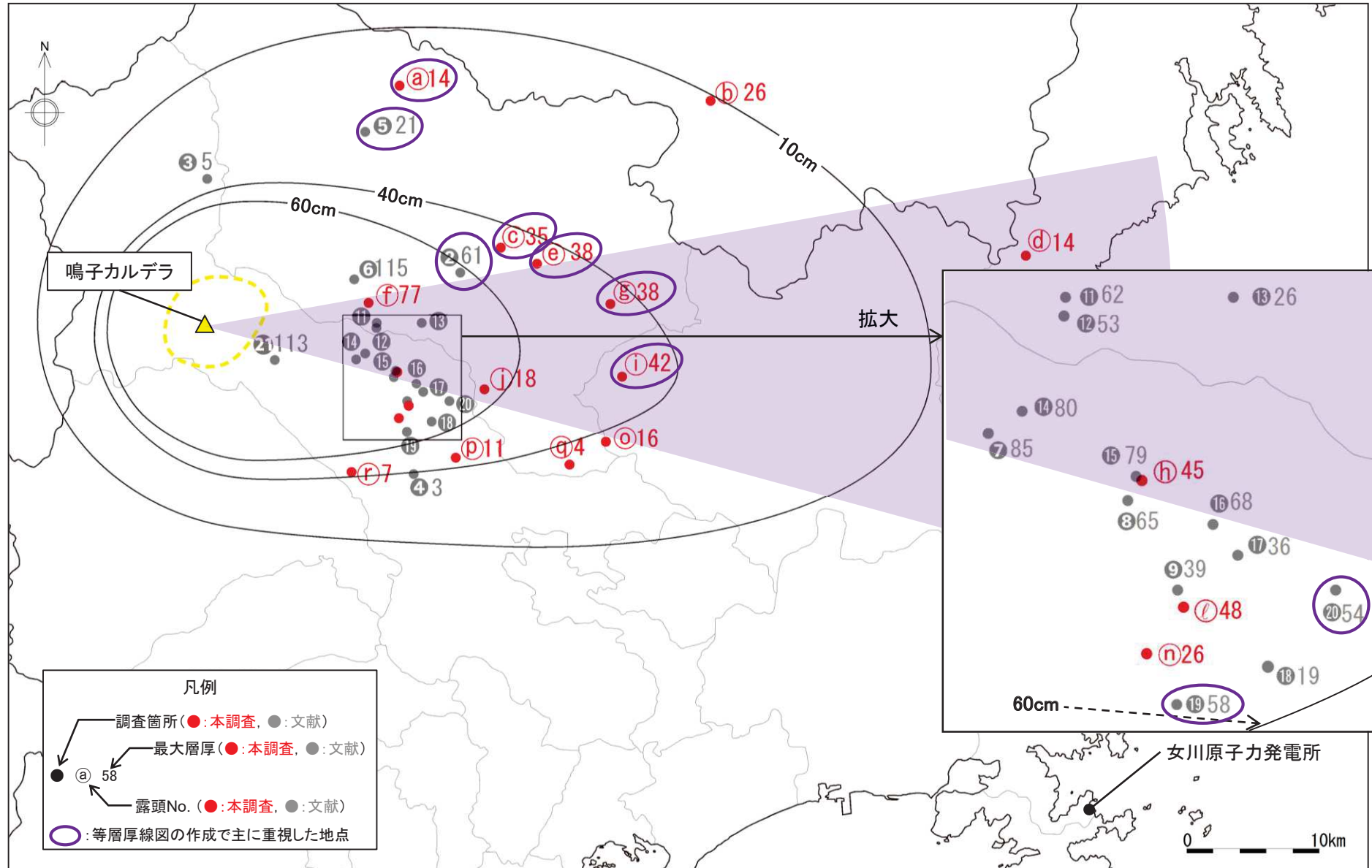
※今回実施した露頭調査結果の層厚と町田・新井(2011)で示されている等層厚線との比較は補足説明資料(p124)に示す。

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

3.1.4 鳴子荷坂の詳細検討【噴出量の検討: Step2(N-N_{1,2}等層厚線図)】

➤ 露頭調査及び文献調査から得られた層厚と分布軸方向の検討結果を基に、N-N_{1,2}の等層厚線図を作成した。

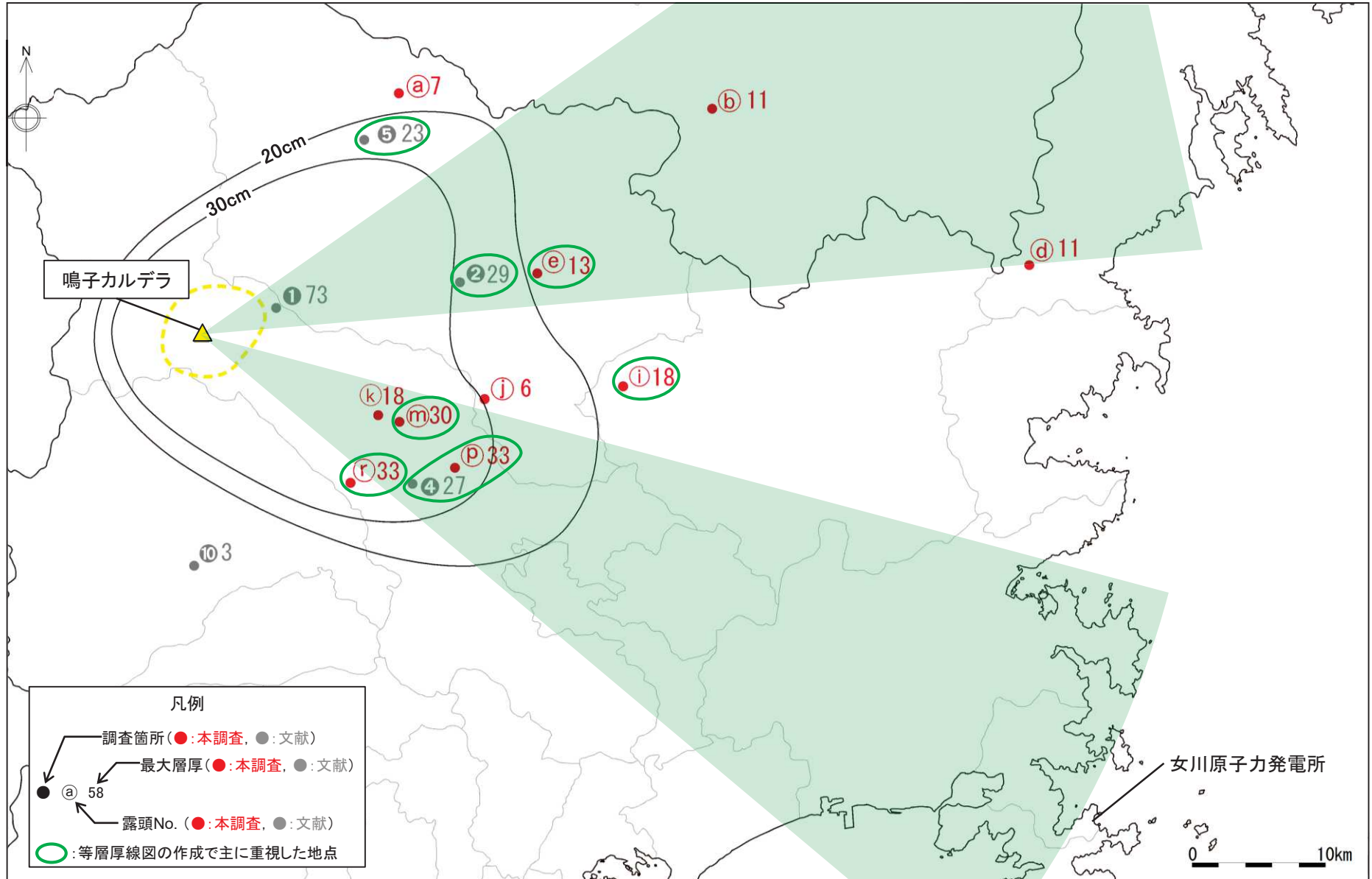


3. 原子力発電所に影響を及ぼし得る火山事象の抽出

3. 1 降下火砕物の影響評価

3. 1. 4 鳴子荷坂の詳細検討【噴出量の検討: Step2(N-N₅等層厚線図)】

▶ 露頭調査及び文献調査から得られた層厚と分布軸方向の検討結果を基に、N-N₅の等層厚線図を作成した。

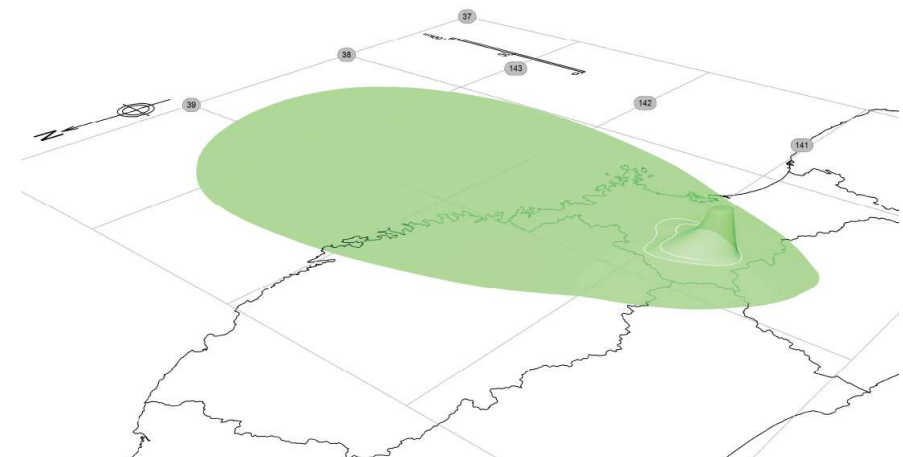
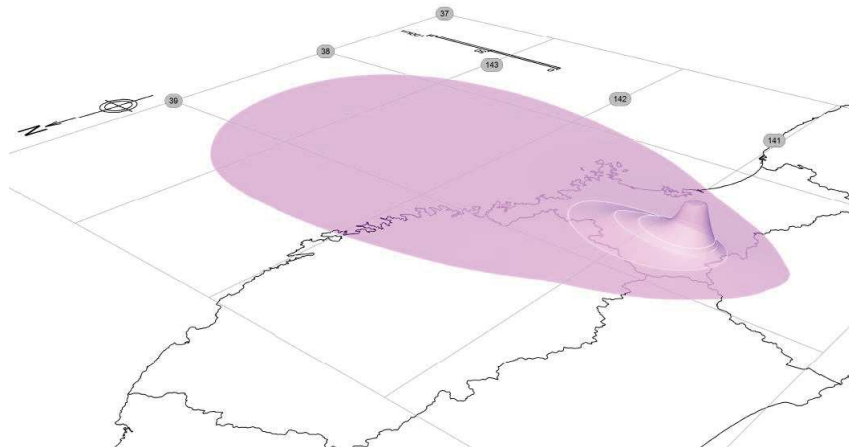
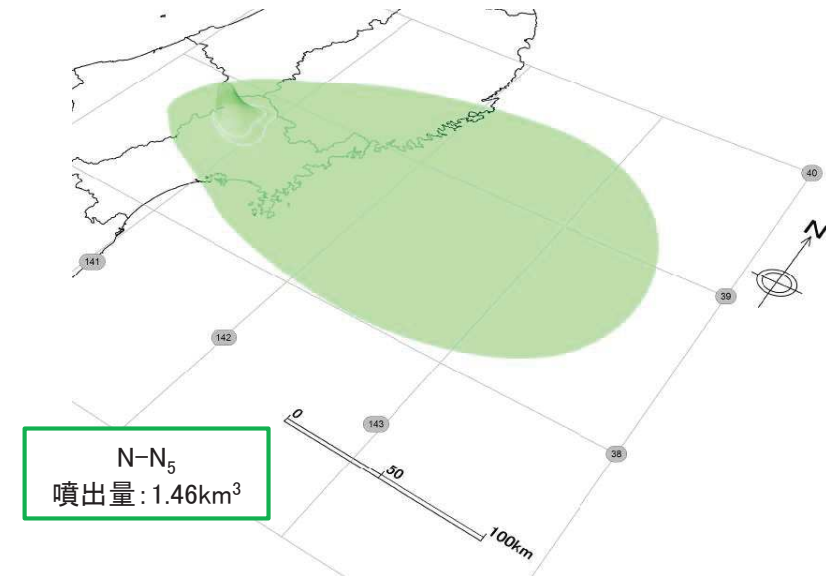
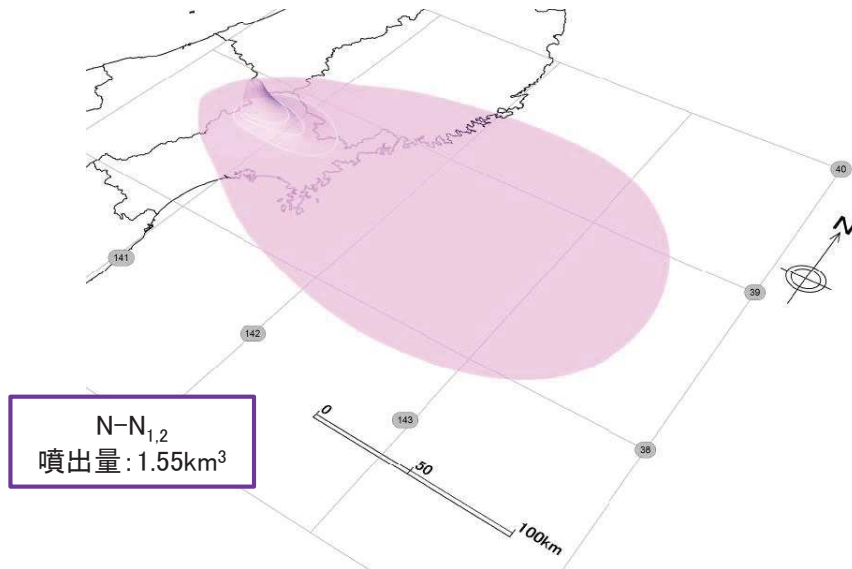


3. 原子力発電所に影響を及ぼし得る火山事象の抽出

3.1 降下火砕物の影響評価

3.1.4 鳴子荷坂の詳細検討【噴出量の検討: Step3(立体化)】

- N-N_{1,2}及びN-N₅の等層厚線を基に、それぞれ立体化(詳細は補足説明資料p125)させて、噴出量を算出した。
- その結果、N-N_{1,2}及びN-N₅の噴出量はそれぞれ1.55km³及び1.46km³であった。



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 鳴子荷坂の詳細検討【噴出量の検討: Step4(再現シミュレーション)】

- N-N_{1,2}及びN-N₅の噴出量を1.55km³及び1.46km³, それ以外の入力条件を下表に示す値として, 再現シミュレーションを行ったが, 再現性の1つの指標としている幾何平均K(p142参照)が1.05を上回り, 露頭・文献層厚に対してシミュレーションが小さいという結果であった。
- この結果を踏まえ, 幾何平均Kが0.95から1.05の範囲になるようN-N_{1,2}及びN-N₅の噴出量を段階的に大きくし, それぞれ1.70km³及び1.63km³とすることで, 幾何平均Kが0.968及び0.956となる結果を得た(詳細はp141,142を参照)。この結果は, 露頭・文献調査に対してシミュレーションが大きく, 噴出量が保守的な値であることを示している。
- 噴煙柱高度は10km, 拡散係数は10,000m²/sを用いることで再現性が得られたことから, 比較的噴煙柱高度は高くなく, 爆発的な噴火であったことが示唆される。
- N-N_{1,2}及びN-N₅のそれぞれの再現性の検討結果を次頁以降に示す。

項目	単位	N-N _{1,2}	N-N ₅	設定根拠
噴出量(みかけ体積)	km ³	1.70	1.63	事業者が行った調査の結果及び再現性の検討を踏まえて設定。
噴出量(DRE体積)	km ³	0.680	0.652	みかけ体積に溶岩密度と降下火砕物密度を用いて設定。
溶岩密度	kg/m ³	2,500		産業技術総合研究所地質調査総合センター編(2017)より設定。
降下火砕物密度	kg/m ³	1,000		産業技術総合研究所地質調査総合センター編(2017)より設定。
噴出量(質量)	kg	1.70 × 10 ¹²	1.63 × 10 ¹²	みかけ体積に降下火砕物密度を乗じる。
噴煙柱高度	km	10		再現性の検討を踏まえて, 町田・新井(2011)より設定。
噴出標高	m	470		気象庁編(2013)より設定。
噴煙柱の分割数	分割数	95		萬年(2013)より, 噴煙柱分割高さが約100mとなるように設定。
最大粒径	mm	1/2 ⁻¹⁰		University of South Florida(2011)より設定。
最小粒径	mm	1/2 ¹⁰		University of South Florida(2011)より設定。
中央粒径	mm	1/2 ^{4.5}		University of South Florida(2011)より設定。
粒径標準偏差	mm	1/2 ³		University of South Florida(2011)より設定。
岩片密度	kg/m ³	2,600		University of South Florida(2011)より設定。
軽石粒子密度	kg/m ³	1,000		University of South Florida(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		再現性の検討を踏まえて, 萬年(2013)より設定。
落下時間閾値	s	3600		Bonadonna et al.(2005)より設定。
風速		7月平均-標準偏差	7月平均-標準偏差	仙台管区気象台の観測記録(1978年~2007年までの30年間)*より設定。
風向		7月最頻値	7月最頻値	仙台管区気象台の観測記録(1978年~2007年までの30年間)*より設定。

再現シミュレーションに用いた入力値

* ワイオミング大学より取得(<http://weather.uwyo.edu/upperair/sounding.html>)

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

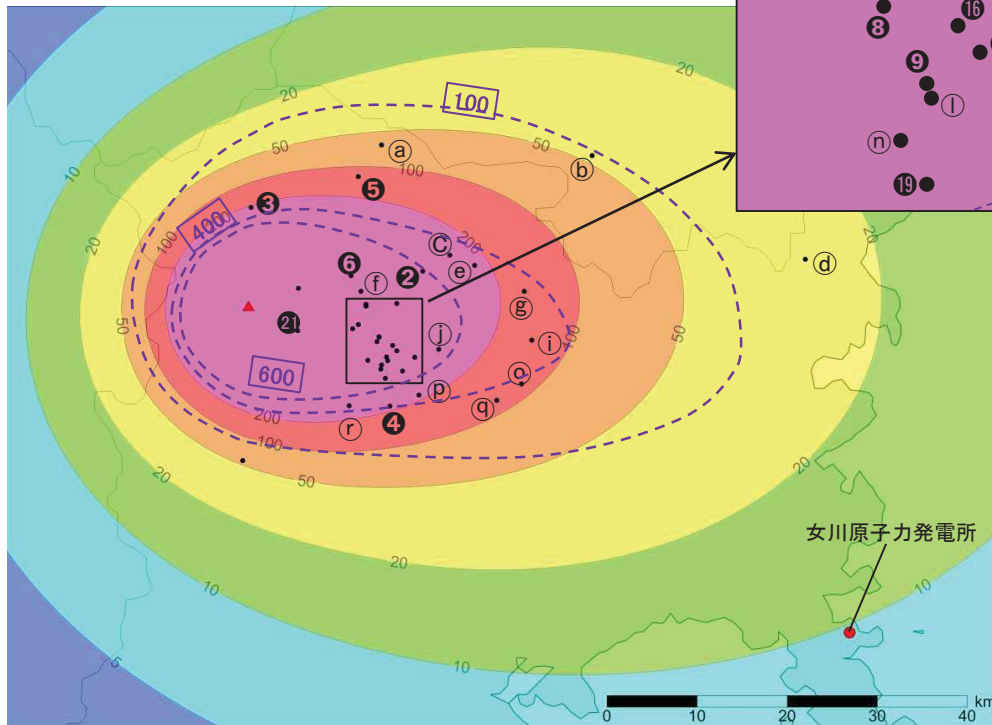
3. 1. 4 鳴子荷坂の詳細検討【噴出量の検討: Step4(N-N_{1,2}の再現性)】

前頁の解析条件を用いたシミュレーションにより再現性が得られた。

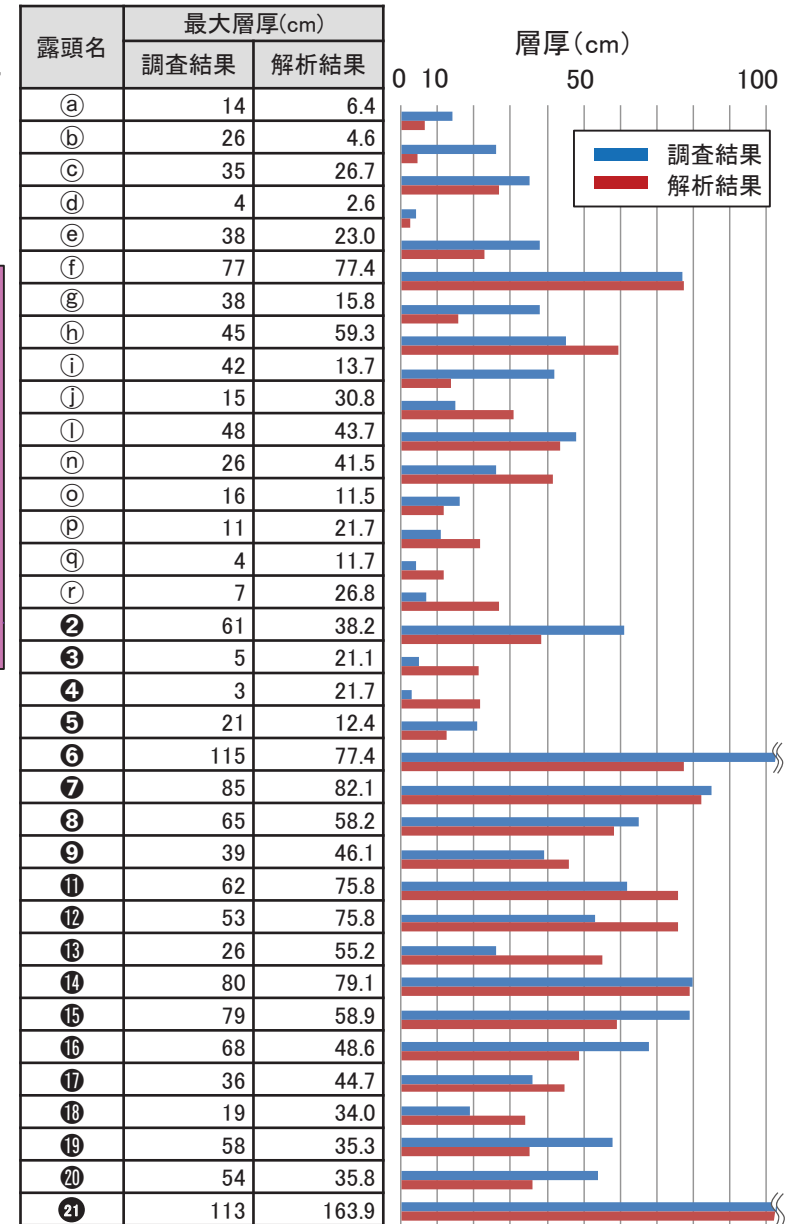
- 露頭及び文献調査結果から作成したN-N_{1,2}の等層厚線とシミュレーション結果を比較すると、概ね整合することを確認した。
- 露頭及び文献調査から得られた層厚とシミュレーション結果から得られた層厚の幾何平均K(次頁参照)は0.968となることを確認した。
- シミュレーション結果では、岩手県の金取遺跡地点にも到達しており、菊池ほか(2015)と整合することを確認した(補足説明資料p126)。



このことから、露頭及び文献調査結果から作成したN-N_{1,2}の等層厚線及び噴出量は妥当であると判断される。



※紫点線はN-N_{1,2}の等層厚線(単位:mm)(p137参照)。



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

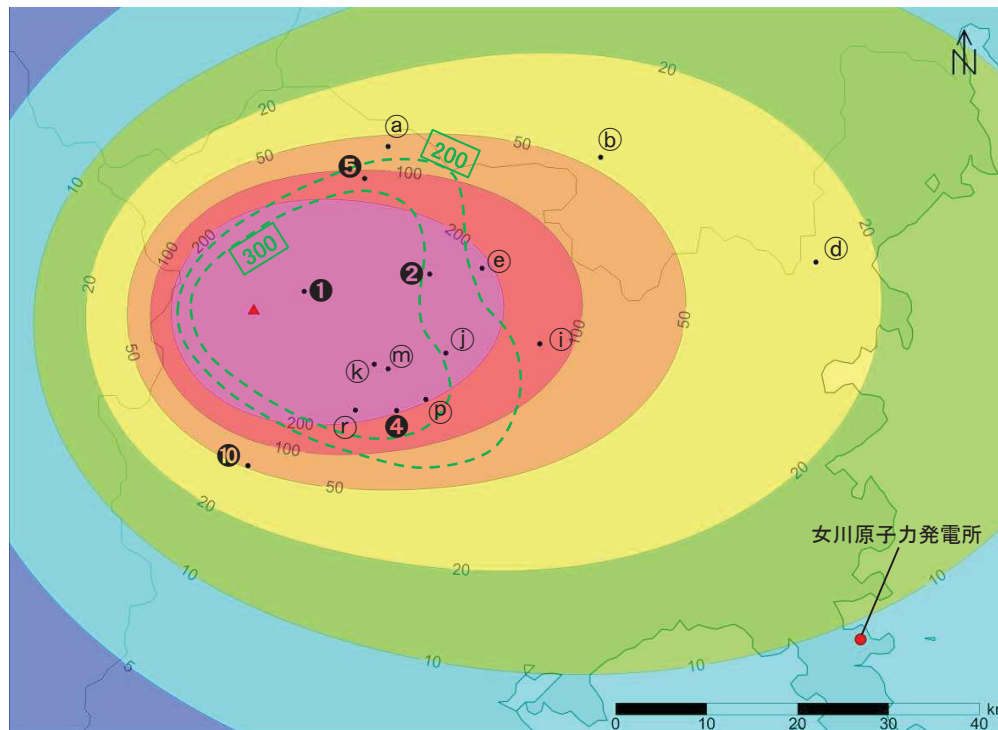
3. 1. 4 鳴子荷坂の詳細検討【噴出量の検討: Step4(N-N₅の再現性)】

前々頁の解析条件を用いたシミュレーションにより再現性が得られた。

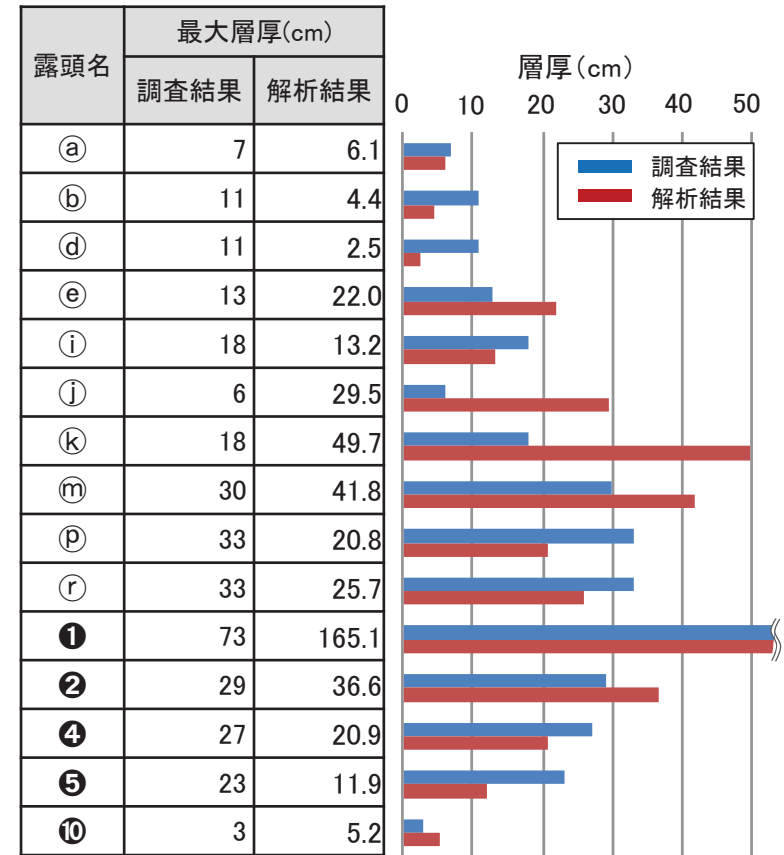
- 露頭及び文献調査結果から作成したN-N₅の等層厚線とシミュレーション結果を比較すると、概ね整合することを確認した。
- 露頭及び文献調査から得られた層厚とシミュレーション結果から得られた層厚の幾何平均Kは0.956となることを確認した。
- シミュレーション結果では、岩手県の金取遺跡地点にも到達しており、菊池ほか(2015)と整合することを確認した(補足説明資料p126)。



このことから、露頭及び文献調査結果から作成したN-N₅の等層厚線及び噴出量は妥当であると判断される。



※緑点線はN-N₅の等層厚線(単位:mm)(p138参照)。



幾何平均K

$$\log K = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \log K_i$$

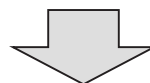
n: 地点数

$$K_i = R_i / H_i$$

R_i: i 番目の地点での層厚

H_i: i 番目の地点での計算値

- 露頭調査及び文献調査の結果から、降下火砕物を伴う噴火は少なくともN-N₁、N-N₂及びN-N₅の3回発生したと考えられるが、N-N₁とN-N₂は連続して堆積していることから、噴出量を検討するにあたっては、一連の噴火として考慮する。
- 露頭調査及び文献調査の結果を踏まえ、N-N_{1,2}とN-N₅の等層厚線図を作成し、立体化させることで噴出量を算出した結果、それぞれ1.55km³と1.46km³となった。
- しかしながら、これらの噴出量を用いた再現シミュレーションでは、幾何平均Kが1.05よりも大きく、露頭・文献層厚に対してシミュレーションが小さいという結果となった。
- このことから、幾何平均Kが0.95から1.05の範囲になるようN-N_{1,2}とN-N₅の噴出量を段階的に大きくし、それぞれ1.70km³及び1.63km³とすることで、幾何平均Kが0.968及び0.956となる結果を得た。この結果は、露頭・文献調査に対してシミュレーションが大きく、噴出量が保守的な値であることを示している。
- 噴煙柱高度は10km、拡散係数は10,000m²/sを用いることで再現性が得られたことから、比較的噴煙柱高度は高くなく、爆発的な噴火であったことが示唆される。



- 女川原子力発電所の影響評価にあたっては、噴出量、拡散係数及び噴煙柱高度について、以下のように設定してシミュレーションを実施した。
- 噴出量については、N-N_{1,2}とN-N₅が今後もN-N₃のような火砕流を伴う噴火を挟んで別々に発生するとは限らないこと等を踏まえ、N-N_{1,2}(1.70km³)とN-N₅(1.63km³)をあわせた噴出量3.33km³(1.70km³+1.63km³)を用いることとする。
 - 拡散係数については、再現性の確認結果を踏まえ、10,000m²/sを基本とする。
 - 噴煙柱高度については、N-N_{1,2}とN-N₅は一連の噴火として噴出量3.33km³を用いることから、町田・新井(2011)を参照し、25kmを基本とする。

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

3.1.4 鳴子荷坂の詳細検討【影響評価:入力パラメータ】

➤ 調査結果を踏まえた鳴子カルデラの降下火砕物のシミュレーションに用いるパラメータは下表の赤枠に示す数値である。

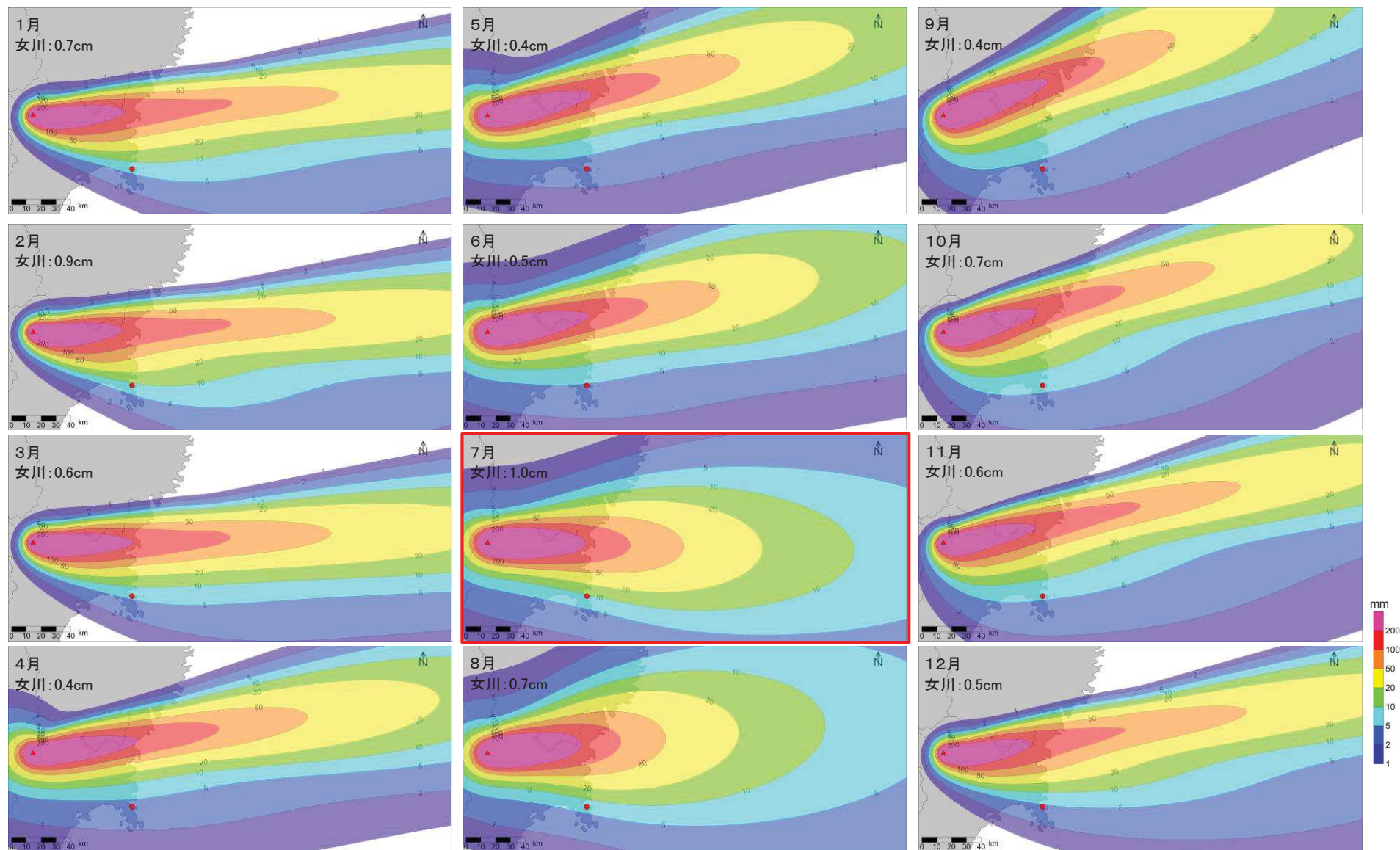
項目	単位	鳴子 カルデラ	設定根拠
噴出量(みかけ体積)	km ³	3.33	事業者が行った調査の結果より設定。
噴出量(DRE体積)	km ³	1.332	みかけ体積に溶岩密度と降下火砕物密度を用いて設定。
溶岩密度	kg/m ³	2,500	産業技術総合研究所地質調査総合センター編(2017)より設定。
降下火砕物密度	kg/m ³	1,000	産業技術総合研究所地質調査総合センター編(2017)より設定。
噴出量(質量)	× 10 ¹² kg	3.33	みかけ体積に降下火砕物密度を乗じる。
噴煙柱高度	km	25	町田・新井(2011)より設定。
噴出標高	m	470	気象庁編(2013)より設定。
噴煙柱の分割数	分割数	245	萬年(2013)より、噴煙柱分割高さを約100mとなるように設定。
最大粒径	mm	1/2 ⁻¹⁰	University of South Florida(2011)より設定。
最小粒径	mm	1/2 ¹⁰	University of South Florida(2011)より設定。
中央粒径	mm	1/2 ^{4.5}	University of South Florida(2011)より設定。
粒径標準偏差	mm	1/2 ³	University of South Florida(2011)より設定。
岩片密度	kg/m ³	2,600	University of South Florida(2011)より設定。
軽石粒子密度	kg/m ³	1,000	University of South Florida(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	再現性の検討を踏まえて、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

3.1.4 鳴子荷坂の詳細検討 【影響評価:基本ケースの結果】

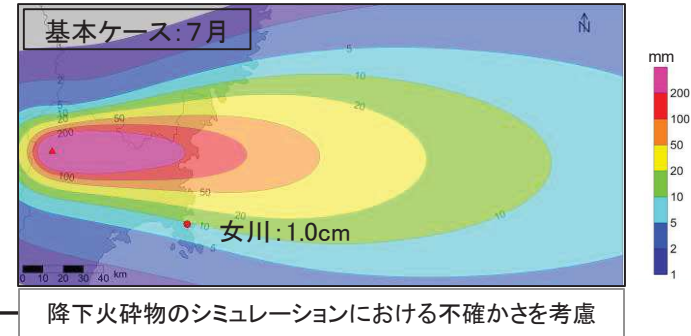
➤ 鳴子カルデラ(鳴子荷坂(Nr-N))を対象とした降下火砕物のシミュレーションを実施した結果、敷地における火山灰の層厚は0.4~1.0cmであった。



3.1 降下火砕物の影響評価

3.1.4 鳴子荷坂の詳細検討 【影響評価:不確かさの検討】

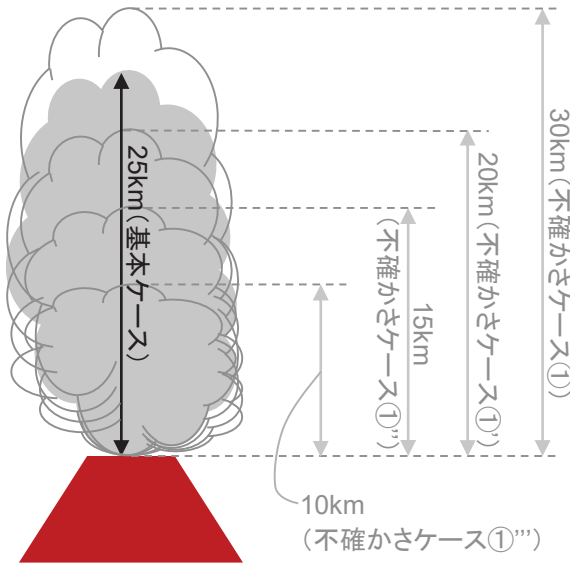
- 7月の気象データを用いたケースが、敷地に最も堆積する結果となった。
- このケースを基本として、降下火砕物シミュレーションにおける不確かさを考慮する。
- パラメータの不確かさとして、①噴煙柱高さ、②風速及び③風向を考慮する。



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

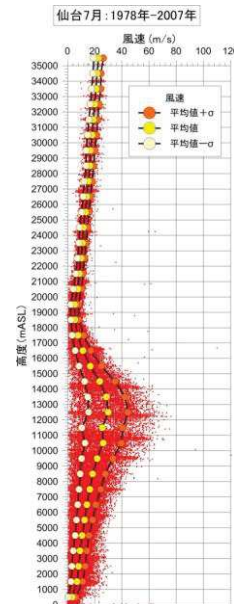
①噴煙柱高さに関する不確かさの考慮

再現性確認で用いた10kmから、5km間隔で30kmまで考慮する(基本ケース:25km)。



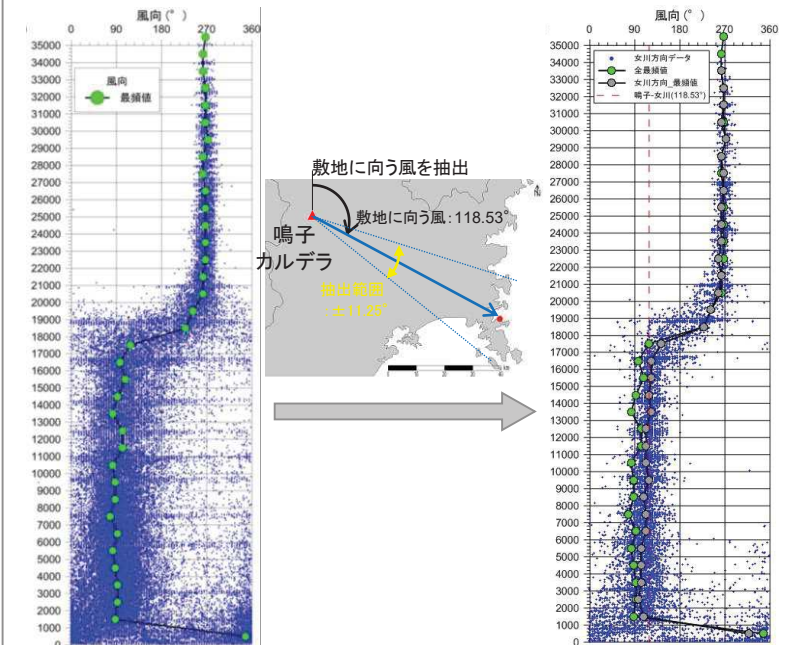
②風速に関する不確かさの考慮

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。

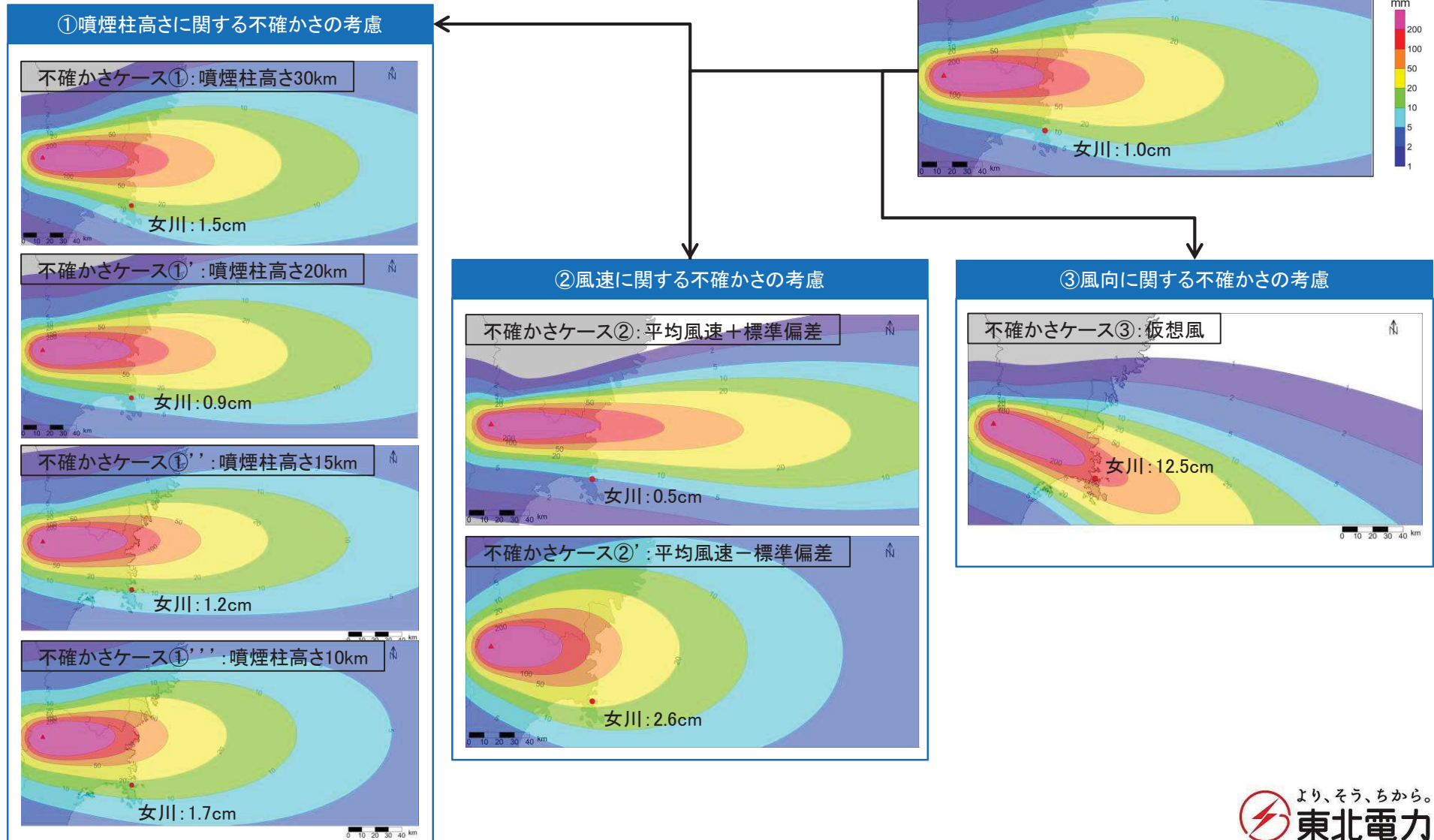


3. 原子力発電所に影響を及ぼし得る火山事象の抽出

3.1 降下火砕物の影響評価

3.1.4 鳴子荷坂の詳細検討【影響評価:不確かさケースの結果】

- 鳴子荷坂 (Nr-N) の調査結果を踏まえた噴出量を用いて、降下火砕物のシミュレーションを実施した結果、女川の層厚は最大で12.5cmである。



【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において、不確かさを考慮した結果、女川の層厚は最大で12.5cmであった。
- また、降下火砕物のシミュレーションコード「Tephra2」のバグを当社独自に修正して用いていることから、国立研究開発法人 産業技術総合研究所のHP上(G-ever)の「Tephra2」を用いて解析を行い、ほぼ同様の結果が得られることを確認した(G-everの入力条件は標高データ※1以外、p144,146と同様)。
- なお、産総研のTephra2では給源位置(緯度経度)を手入力できないことから、当社使用のTephra2の給源位置と全く同じ位置にはならず、解析結果にわずかな差が生じたと考えられる。

基本ケースのシミュレーション結果(鳴子カルデラ)

ケース	女川での火山灰層厚	
	当社使用の Tephra2	産総研HP上の Tephra2※2
1月	0.7cm	0.56cm
2月	0.9cm	0.74cm
3月	0.6cm	0.51cm
4月	0.4cm	0.41cm
5月	0.4cm	0.35cm
6月	0.5cm	0.49cm
7月	1.0cm	0.92cm
8月	0.7cm	0.69cm
9月	0.4cm	0.42cm
10月	0.7cm	0.66cm
11月	0.6cm	0.62cm
12月	0.5cm	0.38cm

不確かさを考慮したシミュレーション結果(鳴子カルデラ)

ケース	不確かさの考慮	女川での火山灰層厚		
		当社使用の Tephra2	産総研HP上の Tephra2※2	
不確かさケース	噴煙柱高さ	30km	1.5cm	1.43cm
		20km	0.9cm	0.87cm
		15km	1.2cm	1.15cm
		10km	1.7cm	1.66cm
風速	平均+1σ	0.5cm	0.52cm	
	平均-1σ	2.6cm	2.51cm	
風向	敷地に向う 仮想風	12.5cm	12.52cm	

※1 標高データは、当社使用のTephra2では「地形なし 1,000mメッシュ」であるのに対して、産総研HP上のTephra2では「地形なし 900m」を用いている。

※2 国立研究開発法人 産業技術総合研究所のHP上(G-ever)の「Tephra2」(産総研によりバグ修正済)を用いた解析結果。

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

3.1.5 降下火砕物の影響評価のまとめ①

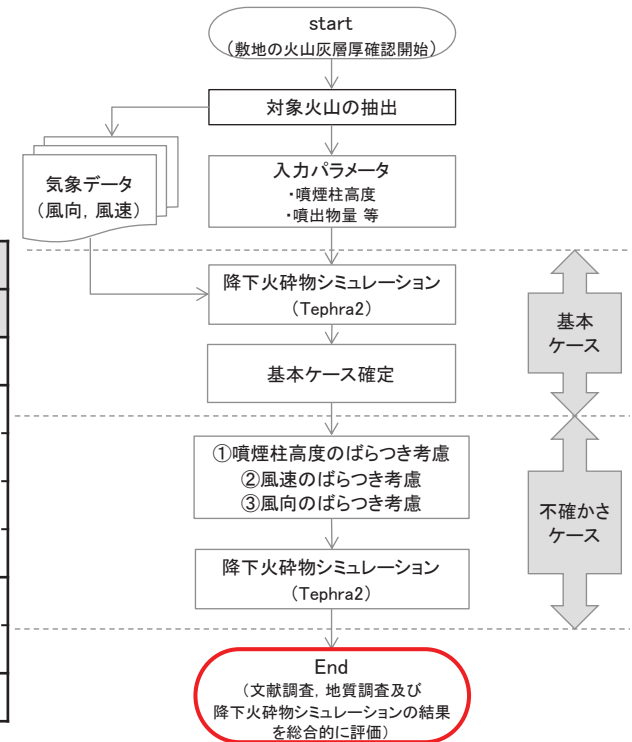
【降下火砕物のシミュレーションのまとめ】

- 降下火砕物のシミュレーションの結果、女川の層厚は最大で12.5cmであった。
- 肘折カルデラを対象とした結果では最大層厚が1.5cmであったことから、敷地内で確認された肘折尾花沢(Hj-O)は侵食よりは降下後の再堆積の影響により局所的な分布となり、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				
		鳴子カルデラ※	蔵王山	肘折カルデラ	十和田	
基本ケース(月別)	—	1.0cm(0.79cm)	3.8cm	0.9cm	0.0099cm	
不確かさケース	噴煙柱高さ	①30km	1.5cm(1.3cm)	3.7cm	0.9cm	0.015cm
		①'20km	0.9cm(0.8cm)	3.7cm	0.8cm	0.017cm
		①''15km	1.2cm	—	—	—
		①'''10km	1.7cm	—	—	—
	風速	②平均+1σ	0.5cm(0.5cm)	3.5cm	0.7cm	0.001cm
		②'平均-1σ	2.6cm(2.2cm)	2.4cm	0.5cm	0.061cm
	風向	③敷地に向う仮想風	12.5cm(10.8cm)	3.9cm	1.5cm	0.9cm

※鳴子カルデラの括弧内は、須藤ほか(2007)の噴出量2.86km³とした場合の評価



シミュレーションを用いた降下火砕物の堆積厚確認フロー

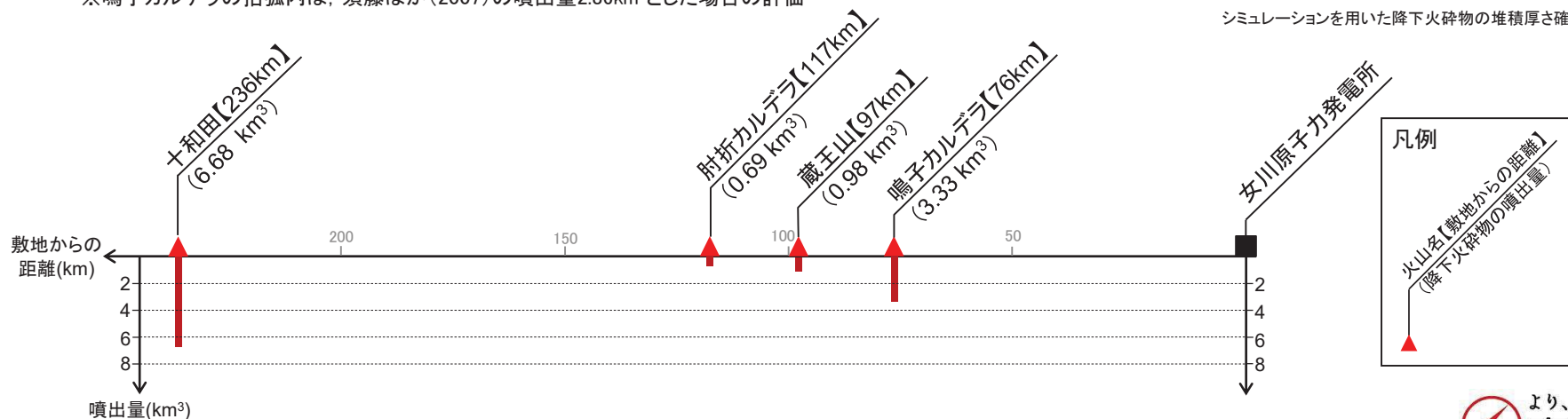


図 各火山の敷地からの距離と噴出量

【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以下であった。
- 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。一方, 敷地内では沖積層がジュラ系の地層を不整合に覆っており, 更新世の降下火砕物は確認されなかった。
- 文献調査, 敷地内での地質調査結果を踏まえ, 肘折カルデラ, 鳴子カルデラ, 蔵王山及び十和田を対象に降下火砕物シミュレーションを実施した。さらに, 鳴子カルデラについては, 追加で実施した露頭調査等の結果を踏まえた噴出量を用いて降下火砕物シミュレーションを実施した。これらの結果から, 敷地での層厚は最大で12.5cm(給源:鳴子カルデラ)であった。



文献調査, 地質調査及びシミュレーションの結果に対して, さらに保守的な評価となるよう女川原子力発電所で考慮する降下火砕物の層厚は15cm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

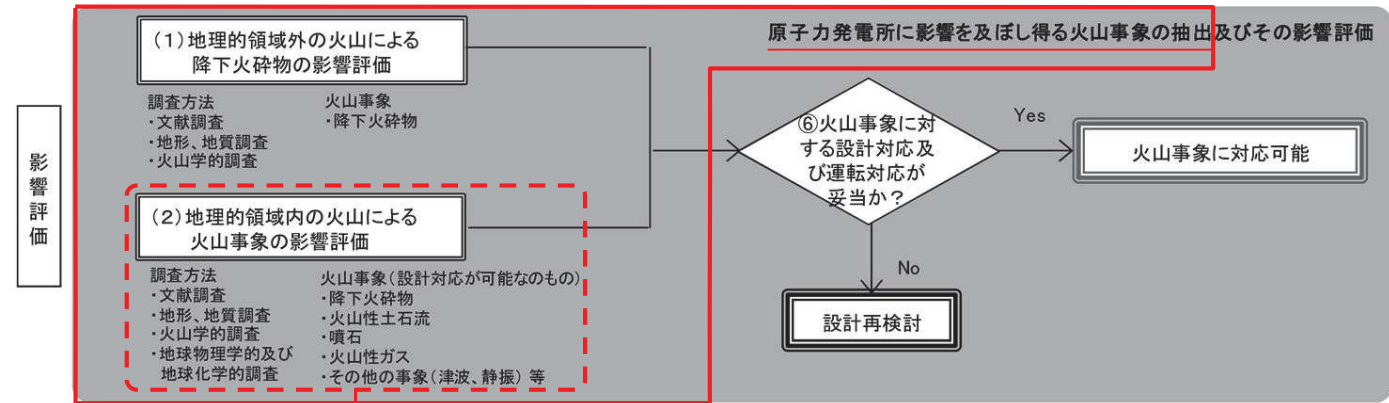


図1 原子力発電所に影響を及ぼす火山影響評価の基本フロー

➤ 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、サージ及びプラスト	動的な物理的負荷、大気の過圧、飛来物の衝撃、300℃超の温度、研磨性粒子、毒性ガス	160km
3. 溶岩流	動的な物理的負荷、洪水及び水のせき止め、700℃超の温度	50km
4. 岩層なだれ、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

- ▶ 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。						
鳥海山	148	○	敷地と火山の距離から、発電所への影響を考慮する必要はない。						
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。	○	敷地と火山の距離から、発電所への影響を考慮する必要はない。	○	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。	○	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、発電所への影響を考慮する必要はない。
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、発電所への影響を考慮する必要はない。	○	敷地と火山の距離から、発電所への影響を考慮する必要はない。	○	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。	○	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、発電所への影響を考慮する必要はない。
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。						
笹森山	130	○	敷地と火山の距離から、発電所への影響を考慮する必要はない。						
吾妻山	140								
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、烏海山、栗駒山、鳴子カルデラ、肘折カルデラ、月山、蔵王山、笹森山、吾妻山、安達太良山及び磐梯山の11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、11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に対して、さらに保守的な評価となるよう15cmとした。
- 降下火砕物の密度については、文献調査の結果、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。
- 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。
- 降下火砕物の粒径は、顕微鏡観察の結果からおおよそ 0.25mm 以下である。



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15cm、密度(湿潤密度)は $1.5\text{g}/\text{cm}^3$ 、粒径は 0.25mm 以下とする。

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地質編集団, 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), 地質調査総合センター
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, 東京大学出版会
7. 町田洋・新井房夫(2011):新編 火山灰アトラス[日本列島とその周辺](第2刷), 東京大学出版会
8. 海上保安庁海洋情報部(2013):海城火山データベース (<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(日本の地質), 共立出版
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 改正 平成29年11月29日 原規技発第17112910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(7), 509-512
15. 北村信(1965):5万分の1地質図幅「焼石岳」, 地質調査総合センター
16. 大沢あつし・舟山裕士・北村信(1971):5万分の1地質図幅「川尻」, 地質調査総合センター
17. 林信太郎(1984):鳥海火山の地質. 岩鉱, 79, 249-265
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年代一連続的に活動した3個の成層火山一. 火山, 46(6), 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(5), 269-284
20. 早田勉(1989):テフロクロ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(4), 269-282
21. 早田勉(1993):テフロクロロジーによる築館町高森遺跡の石器出土層位の検討. 高森遺跡Ⅱ, 東北歴史資料館資料集, no. 35, 東北歴史資料館, p25-38
22. 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」, 地質調査総合センター
23. 阪口圭一・山田営三(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, 268, 37-59
24. 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」, 地質調査総合センター.
25. 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」, 地質調査総合センター.
26. 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」, 地質調査総合センター.
27. 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
28. 須藤茂・猪股隆行・佐々木寿・向山栄(2007):わが国の降下火山灰データベース作成. 地質調査研究報告, 58(9/10), 261-321
29. 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(6), 311-333
30. 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
31. 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」
32. 酒寄淳史(1985):蔵王火山の地質. 岩鉱, 80, 94-103
33. 酒寄淳史(1992):蔵王火山の地質と岩石. 岩鉱, 87, 433-444
34. 山元孝広(2015):新たに認定された第四紀火山の放射年代:笹森山火山, 地質調査研究報告, 第66巻, 第1/2号, p.15-20
35. 阪口圭一(1995):5万分の1地質図幅「二本松」, 地質調査総合センター
36. 長橋良隆・木村裕司・大竹二男・八島隆一(2004):福島市南西部に分布する鮮新世「笹森山安山岩」のK-Ar年代. 地球科学, 58(6), 407-412
37. 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. 火山学会講演予稿集
38. 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」
39. 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(2), 94-110
40. 藤縄明彦(1980):安達太良火山の地質と岩石. 岩鉱, 75, 385-395
41. 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(3), 95-106
42. 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

参考文献②

43. 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(6), 335-359
44. 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(5), 233-249
45. 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(3-4), 35-91
46. 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(1), 19-42
47. 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
48. 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(2), 65-76
49. 伴雅雄(2013):蔵王火山. 地質学雑誌, 119, 補遺, 120-133
50. 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
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, 370-370
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(予報). 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):鳥海火山山麓, 更新世鶯川玄武岩・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(2), 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). 福島大学特定研究「猪苗代湖の自然」研究報告, (3), 91-101
60. 三村弘二(1994):磐梯火山の放射年代-概報-. 地質調査所月報, 45(10), 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, 117-122
64. 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 日本の火山ハザードマップ(上), 27(4), 317-320
65. 宇井忠英編(1997):火山噴火と災害, 東京大学出版会
66. Suzuki, T.(1983):A theoretical model for dispersion of tephra. Arc Volcanism : Physics and Tectonics : 95-113, Terra Scientific Publishing Company, Tokyo.
67. University of South Florida(2011):Tephra2 Users Manual , Spring 2011
68. 佐伯和人(2016):55Tephraの作製と配布, 日本火山学会講演予稿集, P70
69. 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
70. 早田勉(1996b):日本における前期旧石器文化の確認-宮城県座散乱木遺跡・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
71. 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次調査, 108-111
72. 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
73. 北村信(1956):東北地方脊梁山地周縁(岩手・秋田・宮城県境)に発達する石英安山岩類の層位的問題について. 地球科学, 28, 14-22
74. Ishida, T. (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
75. Yamada, E. (1988):Geologic development of the Onikobe caldera, Northeast Japan, with special reference to its hydrothermal system. Rept. Geol. Surv. Japan, 268, 61-190
76. 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
77. 今田正・高岡宣雄・大場与志男(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
78. Wada, K. (1981):Contrasted petrological relations between tholeiitic and calc-alkaline series from Funagata volcano, Northeastern, Japan. J. Japan. Assoc. Min. Petr. Econ. Geol., 76, 215-232.
79. 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
80. 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
81. 松野久也(1967):5万分の1地質図幅「若柳」, 地質調査総合センター
82. 竹内誠・兼子尚知(1996):5万分の1地質図幅「志津川」, 地質調査総合センター
83. 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」, 地質調査総合センター

参考文献③

84. 高橋兵一・松野久也(1969):5万分の1地質図幅「涌谷」,地質調査総合センター
85. 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」,地質調査総合センター
86. 北村信・大沢あつし・中川久夫(1983):5万分の1地質図幅「吉岡」,地質調査総合センター
87. 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」,地質調査総合センター
88. 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」,地質調査総合センター
89. 豊島正幸・石田啄二(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
90. 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
91. 澤井祐紀・穴倉正展・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・亘理町・山元町)における古津波痕跡調査.活断層・古地震研究報告,8,17-70
92. 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するテフラの特徴.地学雑誌,123(5),671-697
93. 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—連続土壌堆積物試料HSシリーズの堆積年代(予察的分析)—.地学雑誌,123(6),904-922
94. Hayakawa, Y. (1985): Pyroclastic Geology of Towada Volcano, Bull Earthq Res. Inst., Univ. Tokyo, 60, 507-592
95. 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(2),pp89-107
96. 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,41,82-83
97. 産業技術総合研究所地質調査総合センター(2014):第四紀噴火・貫入活動データベース.産総研地質調査総合センター,https://gbank.gsj.jp/quaternary/index_qvir.php
98. 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(4),pp173-187
99. Bonadonna, C., Connor, C. B., Houghton, B. F., Connor, L., Byrne, M., Laing, A. and Hincks, T. K. (2005): Probabilistic modeling of tephra dispersal: Hazard assessment of a multiphase rhyolitic eruption at Tarawera, New Zealand. Journal of Geophysical Research, 110, B03203
100. 町田洋・新井房夫・百瀬貢(1985):阿蘇4火山灰—分布の広域性と後期更新世示標層としての意義—.火山(第2集),30(2),49-70
101. 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
102. 伊藤順一・阪口圭一・山元孝広(1997):鳴子火山における後カルデラ期の水蒸気爆発.地球惑星科学関連学会合同大会予稿集,X12-P08,805-805
103. SPARKS, R. S. J. and WALKER, G. P. L. (1977): The significance of vitric-enriched air-fall ashes associated with crystal-enriched ignimbrites. J. Volcanol. Geotherm. Res., 2, p. 329-341.
104. 加美町教育委員会(2007):薬菜原No.15・薬菜原No.25遺跡:町道表薬菜線整備工事に伴う発掘調査報告書,加美町文化財調査報告書,第11集,pp27-37.
105. 産業技術総合研究所地質調査総合センター編(2017):1万年噴火イベントデータ集(ver. 2.3).産総研地質調査総合センター(<https://gbank.gsj.jp/volcano/eruption/index.html>).
106. 菊池強一・黒田篤史・小向裕明・武田良夫(2015): Investigation of the Kanedori Site, Northern Honshu, Japan (日本の本州北部にある金取遺跡の調査), International Union for Quaternary Research (国際第四紀学会)
107. 安藤忍(2013): SAR干渉解析による全国の火山の地殻変動監視と検出された火山性地殻変動.気象研究所技術報告,69,65-88
108. 国土地理院(2015):第133回火山噴火予知連絡会資料,平成27年10月21日
109. 気象庁(2016a):第134回火山噴火予知連絡会資料,平成28年2月17日
110. 気象庁(2016b):第135回火山噴火予知連絡会資料,平成28年6月14日
111. 気象庁(2016c):第136回火山噴火予知連絡会資料,平成28年10月4日
112. Ogawa, Y., Ichiki, M., Kanda, W., Mishina, M. and Asamori, K. (2014): Three-dimensional magnetotelluric imaging of crustal fluids and seismicity around Naruko volcano, NE Japan. EPS, 66, 158
113. 浅森浩一・梅田浩司(2005):地下深部のマグマ・高温流体等の地球物理学的調査技術—鬼首・鳴子火山地域および紀伊半島南部地域への適応—.原子力バックエンド研究,11(2),147-155
114. Nakajima, J. and Hasegawa, A. (2003): Tomographic imaging of seismic velocity structure in and around the Onikobe volcanic area, northeastern Japan: implications for fluid distribution. JVGR, 127, 1-18
115. 山元孝広(2014):日本の主要第四紀火山の積算マグマ噴出量階段図.地質調査総合センター研究資料集, no.613, 産総研地質調査総合センター.
116. 前原祐樹・小川康雄・吹野浩美・長竹宏之(2010):蔵王周辺の比抵抗構造と地震活動. Conductivity Anomaly 研究会論文集, 26-30
117. 伴雅雄・及川輝樹・山崎誠子(2015):蔵王火山地質図,火山地質図15,独立行政法人 産業技術総合研究所 地質調査総合センター, 1sheet
118. Nakajima, J., Matsuzawa, T., Hasegawa, A. and Zhao, D. (2001): Three-dimensional structure of Vp, Vs and Vp/Vs and beneath northeastern Japan: Implications for arc magmatism and fluids. Journal of Geophysical Research, 106(B10), 21843-21857
119. 山崎誠子・伴雅雄・及川輝樹(2014):K-Ar年代測定による蔵王の活動史の再検討.日本火山学会講演予稿集,135-135
120. 河野元・伴雅雄・及川輝樹(2014):蔵王火山,馬の背アグルチネート活動期の層序とマグマ組成時間変化.日本地球惑星科学連合大会予稿集, SVC54-P10

参考文献④

121. 伴雅雄(2010):蔵王火山.「地学のガイドシリーズ 山形県地学のガイド--山形県の地質とそのおいたち--」, コロナ社, 27, 199-205
122. Okada, T., Matsuzawa, T., Nakajima, J., Uchida, N., Yamamoto, M., Hori, S., Kono, T., Nakayama, T., Hirahara, S. and Hasegawa, A. (2014) Seismic velocity structure in and around the Naruko volcano, NE Japan, and its implications for volcanic and seismic activities. EPS, 66, 114.
123. Mishina, M. (2009) : Distribution of crustal fluids in Northeast Japan as inferred from resistivity surveys. Gondwana Res., 16(3-4), 563-571
124. Asamori, K., Umeda, K., Ogawa, Y. and Oikawa, T. (2010) : Electrical resistivity structure and helium isotopes around Naruko volcano, northeastern Japan and its implication for the distribution of crustal magma. Int. J. Geophys., 2010
125. 気象庁(2019a):第143回火山噴火予知連絡会資料(その5) その他の火山
126. 気象庁(2019b):第143回火山噴火予知連絡会資料(その7) ALOS-2 / PALSAR-2データを使ったSAR干渉解析結果
127. 気象庁(2019c):第143回火山噴火予知連絡会資料(その4の2) 東北地方
128. 国土地理院(2019a):第143回火山噴火予知連絡会資料(その6) その他の火山
129. 国土地理院(2019b):第143回火山噴火予知連絡会資料(その4の2) 東北地方
130. Ozawa, T. and Fujita, E. (2013): Local deformations around volcanoes associated with the 2011 off the Pacific coast of Tohoku earthquake, Journal of Geophysical Research, 118, 390-405
131. Takada, Y. and Fukushima, Y. (2013) : Volcanic subsidence triggered by the 2011 Tohoku earthquake in Japan, Nature Geoscience, 6(8), 637-641.
132. 高橋菜緒子・畠山雅将・百合本はる妃・本田雄生・塚本雄也・後藤章夫・太田雄策(2016):水準測量より明らかにした東北地方太平洋沖地震後の鳴子地域の上下地殻変動, 日本地球惑星科学連合大会予稿集, SSS32-09
133. 塚本雄也・杉山賢一・藤田和果奈・渡辺慶太郎・渡邊虹水・高畑明拓・松岡萌・後藤章夫・太田雄策(2014):水準測量より明らかにした東北地方太平洋沖地震による鳴子地域の上下地殻変動, 日本地球惑星科学連合大会予稿集, SSS33-02
134. 山元孝広(2018):磐梯火山, 最新期の火山活動, 火山, 63(3), 37-48
135. 土井宣夫(2018):栗駒火山の完新世噴火史, 日本火山学会予稿集, 142
136. 古川竜太・中野俊・高橋浩・山元孝広(2018):吾妻山地域の地質, 地域地質研究報告(5万分の1地質図幅), 新潟(7)(22), NJ-54-22-14, 産総研地質調査総合センター
137. Yamamoto, T., Kudo, T. and Isizuka, O. (2018): Temporal variations in volumetric magma eruption rates of Quaternary volcanoes in Japan, Earth, Planets and Space, 70:65.