

原子力発電所の火山影響 評価ガイド（案）の概要

2013年3月14日
原子力安全基盤機構

目次

1. 概要
2. 火山影響評価の流れ
3. 原子力発電所に影響を及ぼす火山の抽出
4. 火山の活動可能性評価
5. 原子力発電所に影響を及ぼす火山事象の抽出
6. 原子力発電所固有の火山事象の影響評価
7. 附則

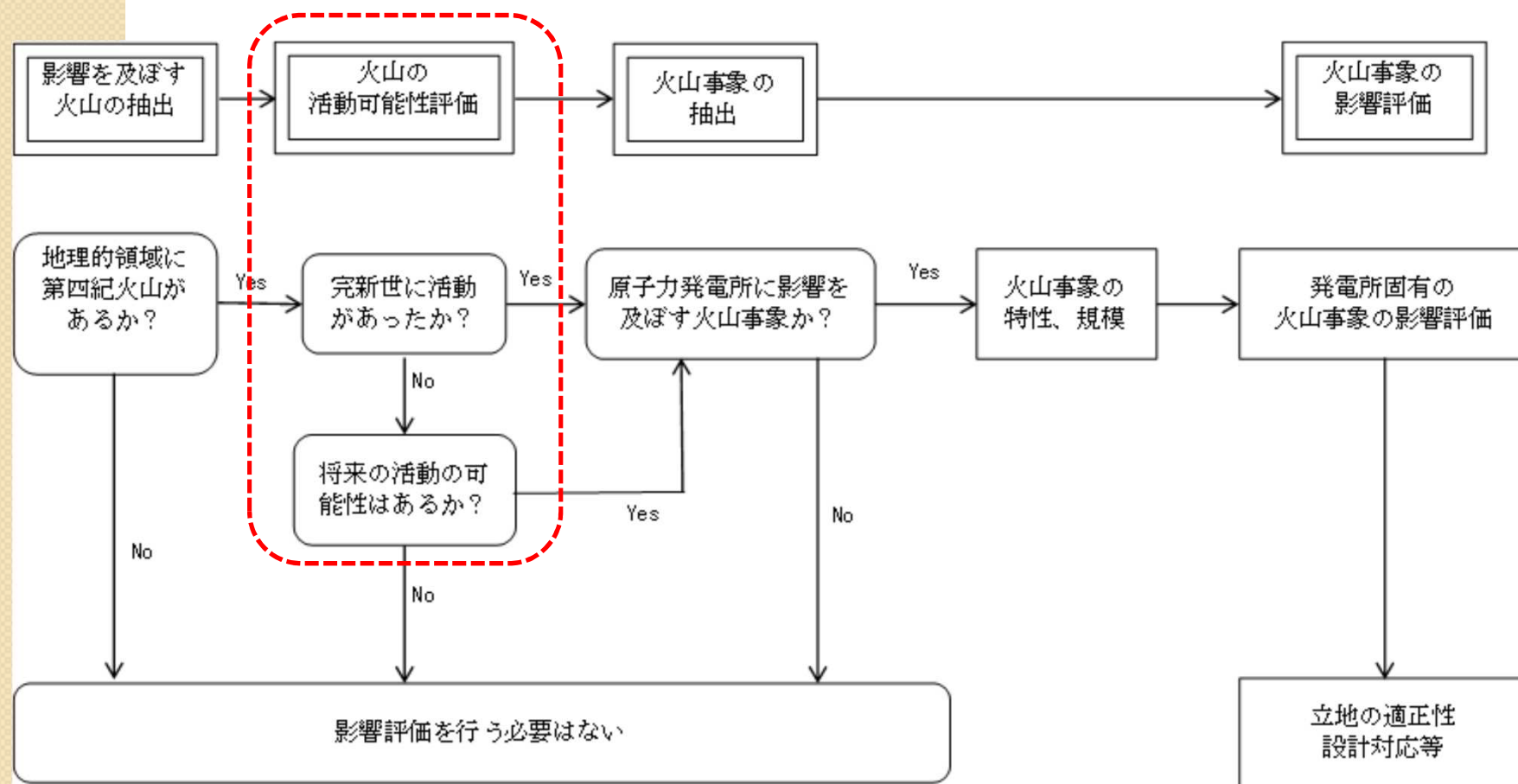
1. 概要

評価ガイドは、原子力発電所に及ぼす火山の影響を適切に評価するため、考慮すべき火山の抽出、火山の活動可能性、原子力発電所への影響の可能性評価のための評価手法と基準をとりまとめたものである。

とりまとめに当たっては、以下を参考にした。

- (1) 使用済燃料中間貯蔵施設の安全審査における「自然環境」の考え方について（平成20年10月27日 原子力安全委員会了承）
- (2) 日本電気協会 「原子力発電所火山影響評価技術指針」
（JEAG4625-2009）
- (3) IAEA Safety Standards “Volcanic Hazards in Site Evaluation for Nuclear Installations” (No. SSG-21, 2012)

2. 火山影響評価の流れ



第四紀は地質時代の1つで、258万年前から現在までの期間。完新世は第四紀の区分のうちで最も新しいものであり、1万1,700年前から現在までの期間

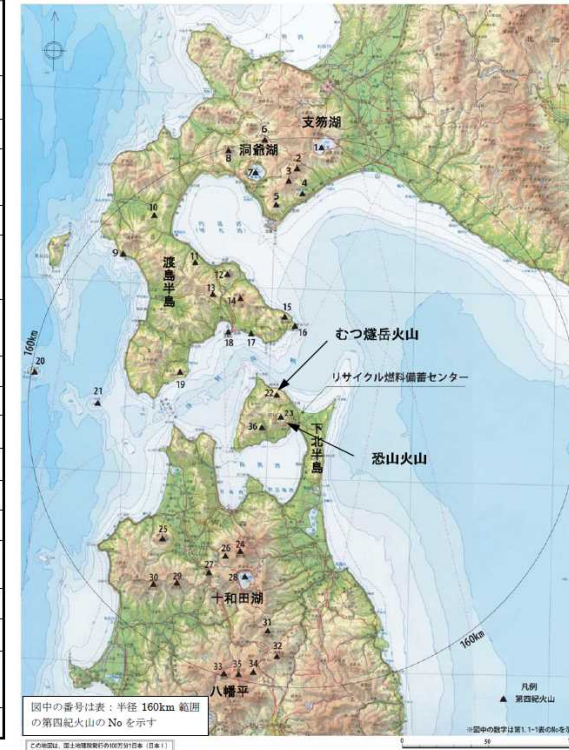
3. 原子力発電所に影響を及ぼす火山の抽出

原子力発電所の地理的領域*に対して、文献調査等で第四紀に活動した火山を抽出し、原子力発電所に影響を及ぼす火山とする。

半径160km範囲の第四紀火山(36火山)

No	火山名 ¹⁾	敷地からの距離(km)	活動年代 ²⁾	活火山の分類 ³⁾	No	火山名 ¹⁾	敷地からの距離(km)	活動年代 ²⁾	活火山の分類 ³⁾
1	文笏	155	39440y.B.P ~1978A.D.	個別火山体 ⁴⁾ として 含まれる樽前山 ⁵⁾ は ランクA、恵庭岳 ⁶⁾ は ランクC	19	渡島丸山	76	2.50Ma~1.47Ma	-
2	ホロホロ・ 徳森管	142	0.63Ma	-	20	渡島大島	158	~1700A.D.	ランクB
3	来馬	130	0.6Ma	-	21	渡島小島	121	0.13Ma ⁷⁾	-
4	倶多楽・ 登別	127	54.6ka~40.2ka	個別火山体 ⁴⁾ として 含まれる倶多楽 ⁵⁾ は ランクC	22	むつ登岳	19	0.73Ma~0.23Ma, 0.08Ma~0.03Ma	-
5	鷺別岳	122	0.51Ma	-	23	恐山	14	0.81Ma~0.1Ma	ランクC
6	尻別岳	159	0.7Ma~0.04Ma	-	24	八甲田	82	0.63Ma~0.4Ma, 0.63Ma, 0.40Ma, 0.16Ma~0.04Ma	ランクC
7	洞爺	141	0.14Ma ~1978A.D.	個別火山体 ⁴⁾ として 含まれる有珠山 ⁵⁾ は ランクA	25	岩木	111	0.33Ma~0Ma	ランクB
8	昆布岳	158	2.8Ma ⁸⁾	-	26	沖浦	96	1.3Ma~1.3Ma	-
9	長機火山岩類	143	1.87Ma~1.3Ma	-	27	麓ヶ岡	108	2Ma~1.83Ma	-
10	キムンタツ ブコップ	145	1.89Ma	-	28	十和田	103	0.6Ma~0Ma	ランクB
11	濁川	108	12.9ka~12.3ka	-	29	土代	125	0.6Ma~0.47Ma, 0.02Ma	-
12	駒ヶ岳	92	32ka~1998A.D.	ランクA	30	大良駒ヶ岳	134	0.2Ma~0.17Ma	-
13	木地挽	85	~1.93Ma	-	31	稲庭	130	鮮明世	-
14	横津(泣面含 む)	76	1.93Ma~0.15Ma	-	32	七時雨	143	1.09Ma~0.93Ma	-
15	恵山丸山	57	0.21Ma	-	33	秋田焼山	160	0.3Ma~0Ma	ランクB
16	恵山	50	>800y.B.P ~1848A.D.	ランクB	34	西森・前森	155	0.4Ma~0.3Ma	-
17	銭亀沢	54	34ka~28ka	-	35	八幡平・茶臼	159	0.83Ma~0.7Ma	個別火山体 ⁴⁾ として 含まれる八幡 平 ⁵⁾ はランクC
18	函館山	64	1.2Ma~0.93Ma	-	36	於法岳 ⁹⁾	26	1.6Ma~1.3Ma ⁸⁾	-

- 1) 「日本の第四紀火山カタログ Ver. 1.0」(1999)
- 2) Nakagawa, M (1992)
- 3) 「日本の第四紀火山」データベース
- 4) 20万分の1の地質図幅「青森(第2版)」(1998)より第四紀火山と判断
- 5) 電源開発株式会社(2008)「大間原子力発電所原子炉設置許可申請書」
- 6) 「日本活火山総覧(第3版)」(2005)
 ランクA: 100年活動度指数あるいは1万年活動度指数が特に高い火山
 ランクB: 100年活動度指数あるいは1万年活動度指数が高い火山
 ランクC: いずれの活動度指数とも低い火山



出典:「第8回 使用済燃料貯蔵事業ご意見を聴く会(耐震関係)」配付資料
(リサイクル燃料貯蔵株式会社リサイクル燃料備蓄センター使用済燃料貯蔵事業許可申請の審査に係る公開資料(旧原子力安全・保安院))

* 火山影響評価が実施される原子力発電所周辺の領域を指す。原子力発電所から半径160kmの範囲の領域とする。

4. 火山の活動可能性評価 (1)

前項で抽出された火山の活動可能性を評価するため、下記の調査を行い、完新世に活動した火山及び将来活動の可能性のある火山を、原子力発電所の供用期間中に噴火する可能性がある火山とする。

1. 文献調査
2. 地形・地質調査及び火山学的調査
3. 地球物理学的及び地球化学的調査

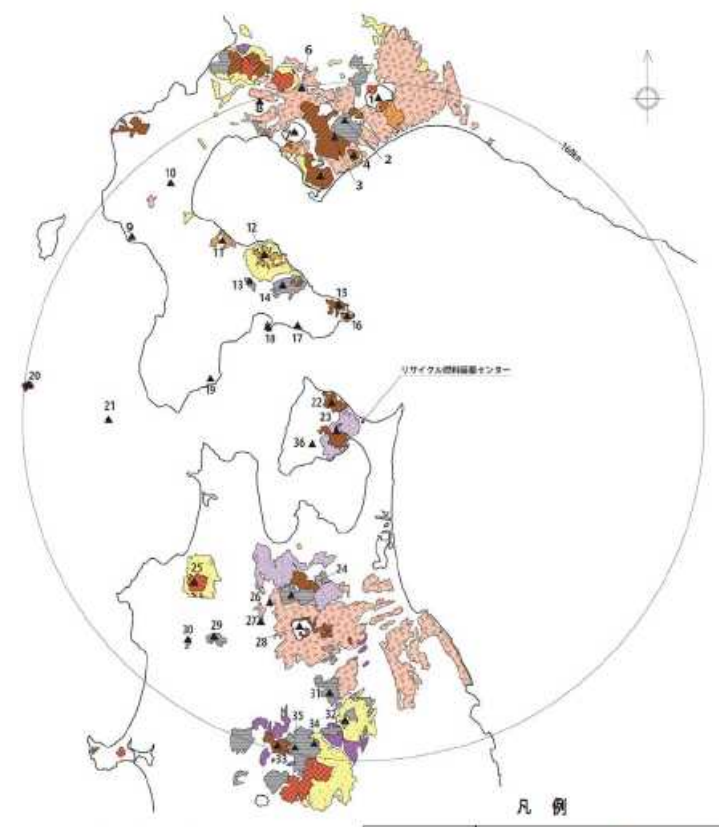
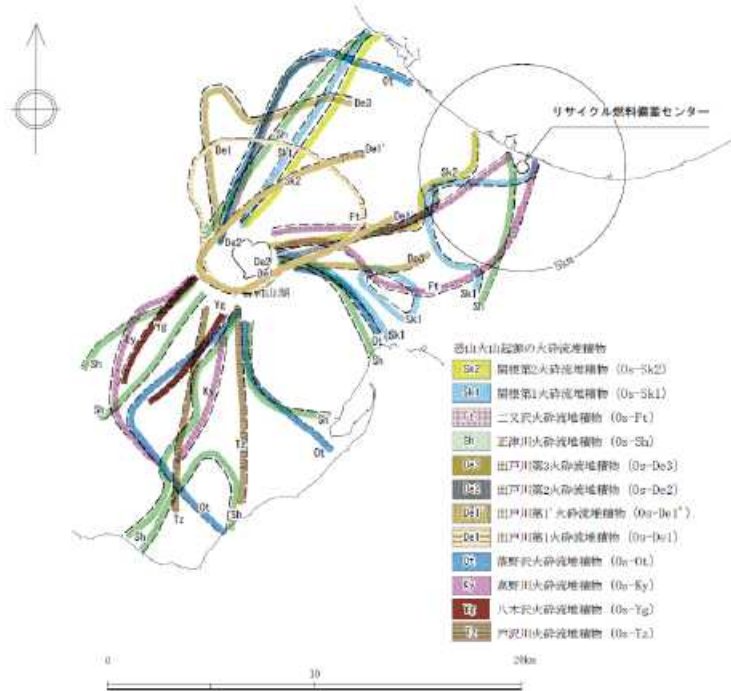
地形調査: 既存の地形図、航空写真等を用いた判読や海底地形データ等に基づき、火山地形の把握を行う。必要に応じて航空測量による最新データの取得

地質調査: 原子力発電所周辺の地理的領域の火山噴出物の噴出中心位置、噴出物種類、活動時期、噴出物(堆積物)分布等の評価に必要な情報を収集
調査においては、露頭もしくはボーリング、ピット掘削等により火山噴出物の試料採取・分析・年代測定等を行い、詳細な情報の収集・評価を実施

火山学的調査: 地質調査において、火山灰、火砕流、溶岩流等の火山噴出物(堆積物)が認められた場合、火山学的な調査を行う。

4. 火山の活動可能性評価 (2)

【地質調査結果】
 [恐山火山周辺噴出物]
 恐山火山周辺噴出物は、12層の火砕流堆積物、17層の降下火砕物及び3層の岩屑なだれ堆積物で構成される。
 (火砕流堆積物)
 ・ 約50万年前～約20万年前に噴出
 ・ 約27万年前にOs-Shの噴出に伴って、カルデラを形成
 (降下火砕物)
 ・ 火砕流噴出期と同時期にマグマ噴火に伴う降下火砕物 (Os-2等)、マグマ水蒸気噴火に伴う降下火砕物 (Tn-A-8等)が噴出
 ・ 約8万年前～約6万年前に水蒸気噴火に伴う降下火砕物 (宮後テフラ)が噴出



凡例

		第四紀火山			
		▲	火砕流堆積物	火山岩	岩屑
第四紀	更新世				
	完新世				
	後期 中期 前期				

この図は、産業燃料貯蔵施設内燃料備蓄センター編成(2016年12月現在)と、2016年の燃費シミュレーション(2015年12月現在)を基に、リサイクル燃料貯蔵施設が設置される可能性のある地域を示している。

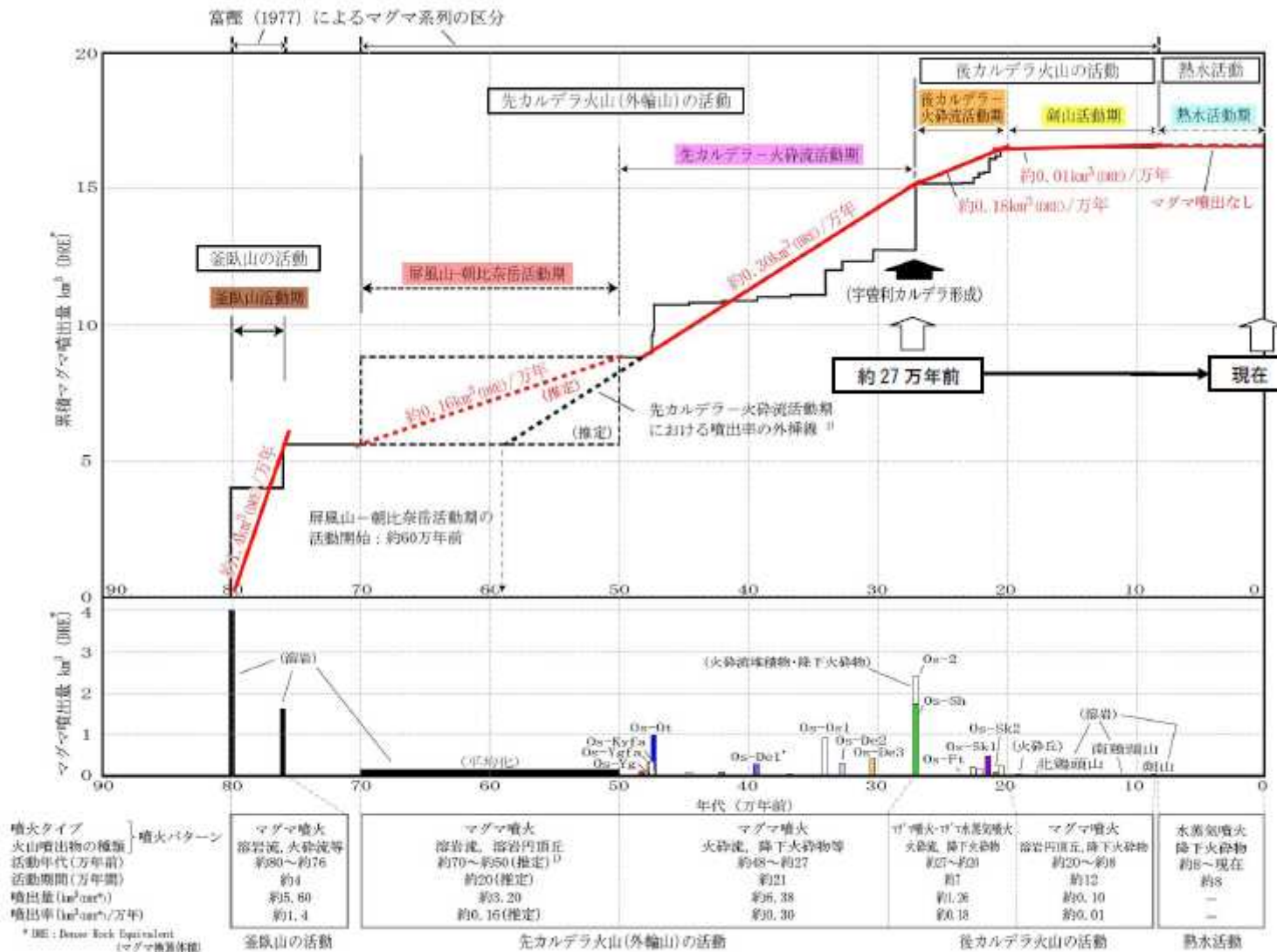
図中の番号は表：半径160km範囲の第四紀火山のNoを示す(p2参照)

20万分の1日本シームレス地質図では、前期更新世を約170万年前～70万年前、中期更新世を約70万年前～15万年前、後期更新世を約15万年前～1万8000年前としている。

出典:「第8回 使用済燃料貯蔵事業ご意見を聴く会(耐震関係)」 配付資料 (リサイクル燃料貯蔵株式会社リサイクル燃料備蓄センター使用済燃料貯蔵事業許可申請の審査に係る公開資料(旧原子力安全・保安院))

半径160km範囲の火山地質図

4. 火山の活動可能性評価 (3)



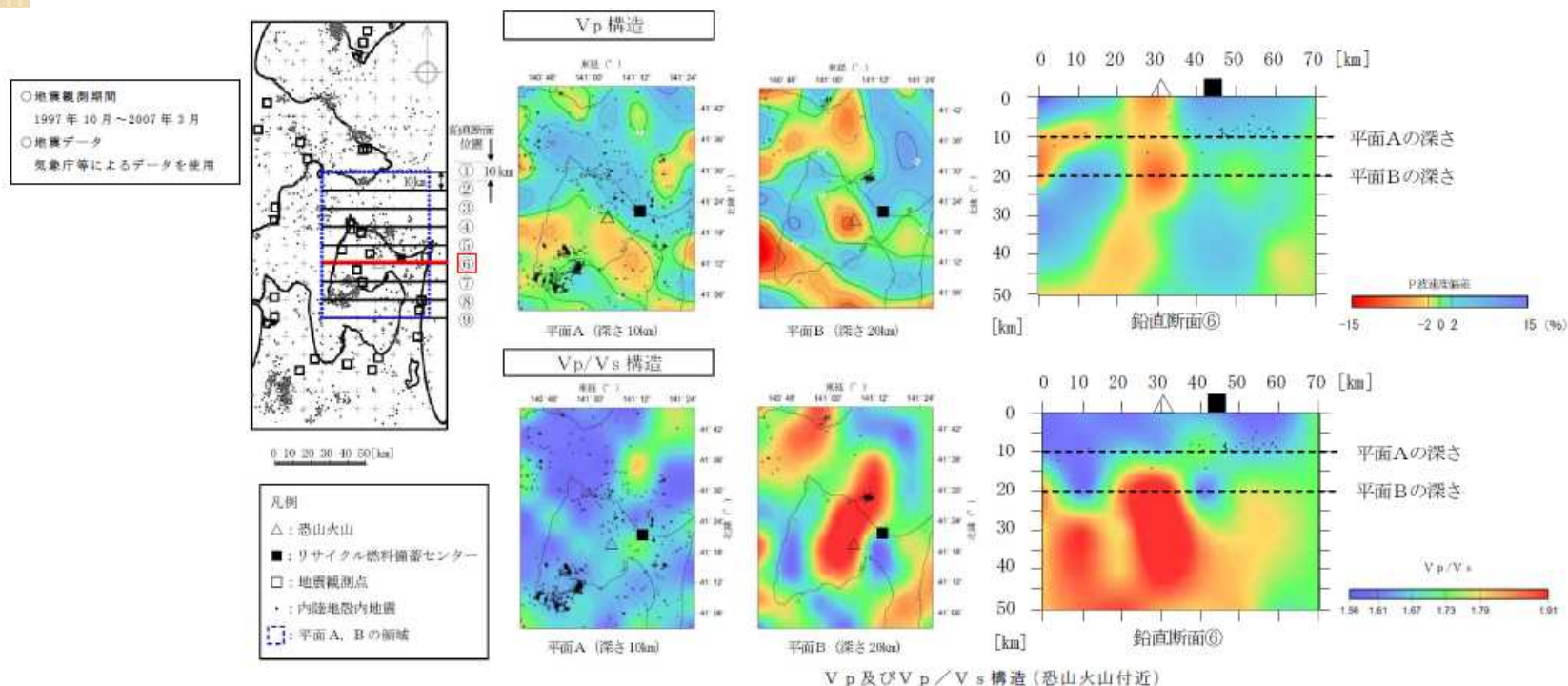
1) 屏風山-朝比奈岳活動期の噴出率を先カルデラ-火砕流活動期の噴出率と同じと仮定し、過去に向かって外挿すると、屏風山-朝比奈岳活動期の活動開始時期は約60万年前か、あるいはこれより数千年前になる可能性がある。
 (守屋 (1982) によれば、一般的に破砕火山における活動期の噴出率は発達段階を踏んで小さくなると思われる)

恐山火山の時間-積算噴出量段階図 (階段ダイヤグラム)

出典:「第8回 使用済燃料貯蔵事業ご意見を聴く会(耐震関係)」配付資料
 (リサイクル燃料貯蔵株式会社リサイクル燃料備蓄センター使用済燃料貯蔵事業許可申請の審査に係る公開資料(旧原子力安全・保安院))

4. 火山の活動可能性評価 (4)

地球物理学的及び地球化学的調査



【評価】
深さ約15km以浅では低Vp、かつ、低Vp/Vs領域であることから水が存在する可能性を示唆しているものと判断される。
以上のことから、恐山火山直下の上部地殻の少なくとも深さ約15km以浅には、マグマ等の流体が存在する可能性を示唆する低Vp、かつ、高Vp/Vs領域は認められず、大規模なマグマ溜まりは存在しないものと判断される。

地震波速度構造:地震探査により地下構造を解析する手法で、岩石の種類、流体の飽和度、温度、圧力等の変化を反映しており、低速度領域には、流体や高温異常の存在を示唆するとされている(浅森・梅田、2005)。また、低Vp、低Vs及び高Vp/Vs領域には、メルトの存在を示唆し、低Vp、低Vs及び低Vp/Vs比領域には水の存在を示唆するとされている

出典:「第8回 使用済燃料貯蔵事業ご意見を聴く会(耐震関係)」配付資料
(リサイクル燃料貯蔵株式会社リサイクル燃料備蓄センター使用済燃料貯蔵事業許可申請の審査に係る公開資料(旧原子力安全・保安院))

5. 原子力発電所に影響を及ぼす火山事象の抽出

活動可能性があるとされた火山について、それが噴火した場合、原子力発電所の安全性に影響を与える火山事象を表1に従い抽出する。

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^{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. 火山灰の降下	静的な物理的負荷、気中及び水中の研磨性及び腐食性粒子	注2
2. 火砕物密度流：火砕流、サージ及びブラスト	動的な物理的負荷、大気の過圧、飛来物の衝撃、300℃超の温度、研磨性粒子、毒性ガス	160km
3. 溶岩流	動的な物理的負荷、洪水及び水のせき止め、700℃超の温度	50km
4. 岩屑なだれ、地滑り及び斜面崩壊	動的な物理的負荷、大気の過圧、飛来物の衝撃、水のせき止め及び洪水	50km
5. 火山土石流、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	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、静振、火口湖の崩壊	水の氾濫	注4
10. 大気現象	動的過圧、落雷、ダウンバースト風	注4
11. 地殻変動	地盤変位、沈下又は隆起、傾斜、地滑り	注4
12. 火山性地震及びその関連事象	継続的微小動、多重衝撃、通常は地震マグニチュードM < 5	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とする。

注2：火山灰に関しては、噴出源にかかわらず、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同等の厚さ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、原子力発電所の供用期間中に、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。

6. 原子力発電所固有の火山事象の影響評価 (1)

前項で抽出された火山事象について、原子力発電所への影響を評価する

1. 降下火山灰
2. 火砕物密度流
3. 溶岩流
4. 岩屑なだれ、地滑り及び斜面崩壊
5. 火山性土石流、火山泥流及び洪水
6. 火山から発生する飛来物(噴石)
7. 火山ガス
8. 新しい火道の開通
9. 津波及び静振
10. 大気現象
11. 地殻変動
12. 火山性地震とこれに関連する事象
13. 熱水系及び地下水の異常

下線の事象はSSG-21では設計対応が困難な事象とされている

6. 原子力発電所固有の火山事象の影響評価（2）

降下火山灰

降下火山灰の影響評価では、降下火山灰の堆積物量、堆積速度、堆積期間及び火山灰特性などの設定、並びに降雨等の同時期に想定される気象条件及び火山灰特性に及ぼす影響を考慮し、それらの原子炉施設又はその付属設備への影響を評価し、必要な場合には対策がとられ、求められている安全機能が担保されることを評価する。

<直接的影響の評価基準>

- 火山灰堆積荷重に対して、安全上重要な建屋、屋外タンク等の健全性が維持されること。
- 降下火山灰により、取水設備、原子炉補機冷却海水系統、格納容器ベント設備等の安全上重要な設備が閉塞等によりその機能を喪失しないこと。
- 外気取入口からの火山灰の侵入により、換気空調系統のフィルタの目詰まり、非常用ディーゼル発電機機関の損傷等による系統・機器の機能喪失がなく、加えて中央制御室における居住環境を維持すること。



<間接的影響の評価基準>

- 原子力発電所外での影響（長期間の外部電源の喪失及び交通の途絶）を考慮し、燃料油等の備蓄により、必要期間は所内だけで対応が取れること。
- 必要に応じて、サイト内の建物、設備における火山灰の除去等の対応が取れること。

6. 原子力発電所固有の火山事象の影響評価 (3)

火砕物密度流*

供用期間中に活動可能性のある火山それぞれに対する火砕物密度流の評価では、対象の火山による火砕物密度流の規模、堆積物量などの観点から原子力発電所への影響を示し、設計対応の可否を評価する。

<直接的影響の評価基準>

- 火砕物密度流が原子力発電所に到達しないこと。ただし、到達する火砕物密度流の特性、規模により設計対応が可能なことを示すことが可能な場合はこの限りではない。

<間接的影響の評価基準>

- 原子力発電所外での影響（長期間の外部電源の喪失及び交通の途絶）を考慮し、燃料油等の備蓄により、必要期間は所内だけで対応が取れること。

火砕密度流：火山噴火の結果として地面を流れる、火山ガス、火砕物及び岩石の混合物の総称（すなわち、火砕流、サージ及びブラスト）

火砕流：火砕物と高温ガスが地面に近接して流れる高濃度流。火砕流は大きな碎屑岩（岩塊、火山弾）を運ぶことが可能であり、通常は地形の勾配に従う。火砕流内の温度は多くの場合、500° Cを超える。速度は一般的には50～100 km/hとされている。

7. 附則

- 評価方法は、本評価ガイドに掲げるもの以外であっても、その妥当性が適切に示された場合には、その方法を用いることはさまたげない。
- 本評価ガイドは、今後の安全研究の成果、新たな知見と経験の蓄積に応じて、それらを適切に反映するように見直していく。

火山活動可能性評価について(I)

火山の噴火可能性をどのように評価するか？

<現在の評価ガイドの記載内容>

「考慮すべき火山の活動を科学的に把握する観点から、過去の火山の活動履歴とともに、必要に応じて、地球物理学的及び地球化学的調査を行い、現在の火山の活動度も併せて検討する」としており、評価基準がない。



<H25年度から開始する予定の安全研究>

火山活動とその休止期間の関係を火山の特性、地下構造、地球物理学的及び地球化学的調査手法等の最新の知見に基づく火山活動に起因する事象調査から、火山活動の可能性をより定量的に評価するための評価基準を作成することを目的とした調査研究を実施

モデルケースの調査を行い、火山固有の特性、噴火履歴、現在の状態を基に噴火可能性を評価し、定量的な評価を行うための手法、パラメータの抽出を行い、評価基準に資する

火山活動可能性評価について(Ⅱ)

IAEAのSSG-21では、将来の火山事象の可能性に関する確率論的解析を使用することができるが、その考え方や手法等についての詳細な記載はない。

放射線学的影響を持つ相互作用事象の確率値に対する許容可能な限界値の1つとして、 10^{-7} の年間確率の値が外部事象のハザード評価で使用されている

決定論的アプローチについても記載

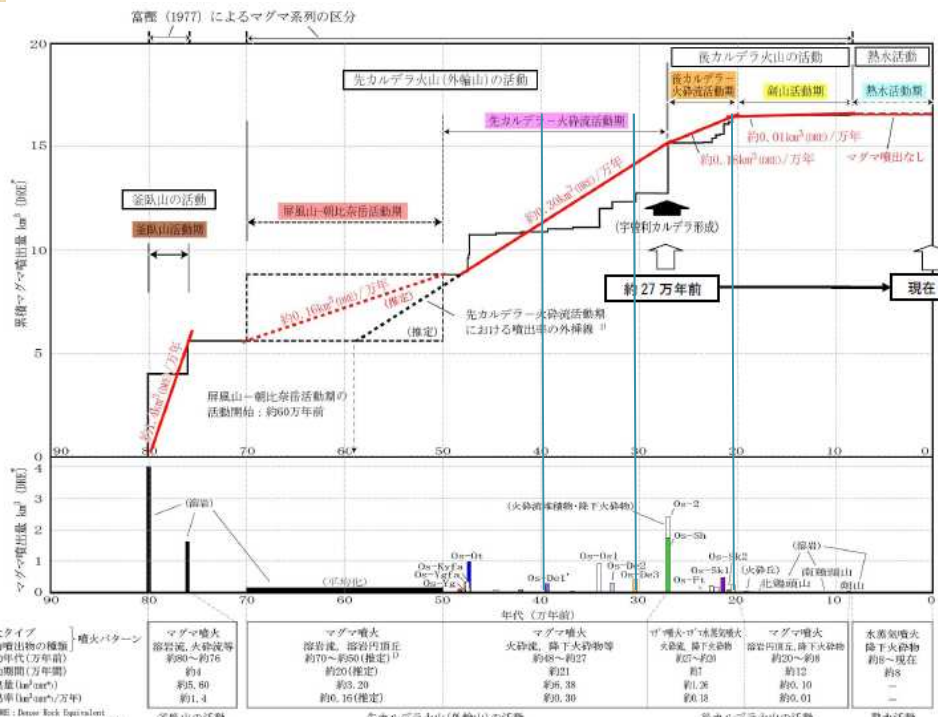
- ・噴火活動が発現した後で次の発現が起こるまでの間の時間経過の最大期間を判別し、この活動の空白期間を閾値とする
- ・追加的な決定論的アプローチとして、階段ダイアグラム(火山系の時間と量の関係)、若しくは岩石学的傾向をもとに評価する

火山活動可能性評価について(Ⅲ)

火山活動可能性評価については、供用期間中における原子力発電所へ与える影響を適切に評価できるまで十分に成熟したものとなっていない。



設計対応が不可能な**火砕物密度流等の痕跡**が原子力発電所敷地内及びその周辺に確認された場合、将来の噴火可能性有りと判断する。



<課題>

- ・何万年前での火砕物密度流を対象とするか？
- ・その周辺の範囲をどの程度とするか？



科学的な根拠が必要

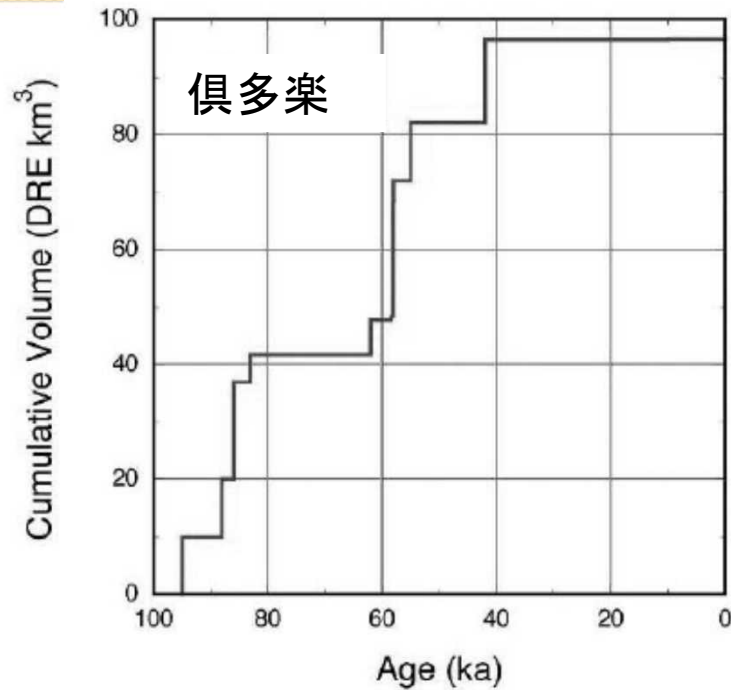
現状の知見で、一般化が可能か？

1) 釜臥山-朝比奈岳噴火帯の噴出率を先カルデラ-火砕流活動期と見做す。過去に同帯で噴火すると、釜臥山-朝比奈岳活動期の活動開始時期は約60万年前か、あるいはこれより新しくなる可能性がある。

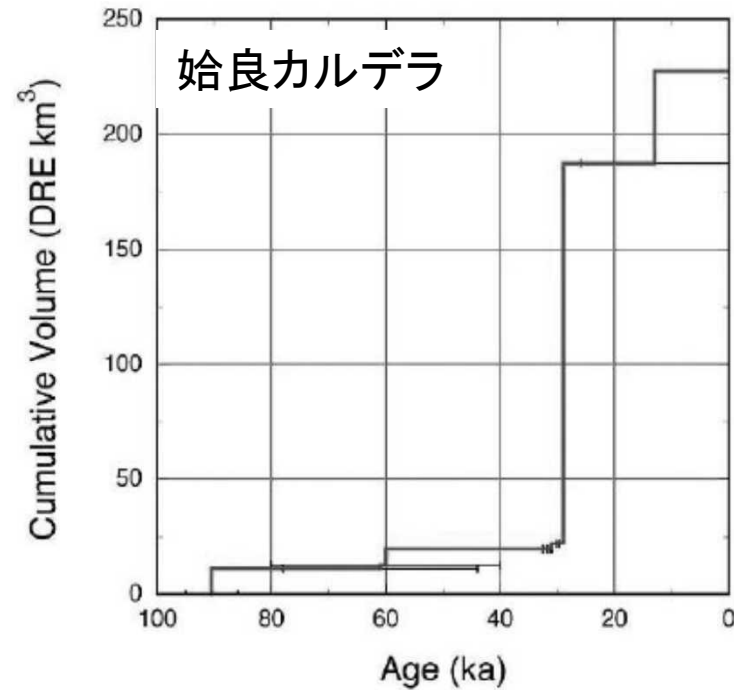
2) 70年 1000a) によれば、一般の活火山における溶岩流噴火帯の噴出率は約0.16 km³/1000a/万年である。

恐山火山の時間-積算噴出量段階図 (階段ダイヤグラム)

火山活動可能性評価について(Ⅲ)



- ・4万年以前は噴火を繰り返している
- ・4万年以後は噴火がない



- ・約3万年に大規模な噴火を起こしている
- ・大規模噴火の前は約6万年間の休止期間がある
- ・約1.5万年前にも約40km³規模の噴火が発生している

現在の地下構造データ

- ・マグマの状態、地殻変動等

活動可能性の評価あるいは将来予測としてどのようなアプローチがあるか？