

# NRA 技術ノート

NRA Technical Note Series

## 地層処分の概要調査地区等の選定時に安全確保

## 上少なくとも考慮されるべき事項の背景及び根拠

## Background and Evidences of the Considerations to Ensure Nuclear Safety in the Site Selection Phases for Geological Disposal

鏡 健太 木嶋 達也 青木 広臣

KAGAMI Kenta, KIJIMA Tatsuya, and AOKI Hiroomi

長官官房技術基盤グループ 放射線・廃棄物研究部門

Division of Research for Nuclear Fuel Cycle and Radioactive Waste,  
Regulatory Standard and Research Department

志間 正和

SHIMA Masakazu

原子力規制部 研究炉等審査部門

Division of Licensing for Research Reactors, Use of Nuclear Material and Specified Nuclear Facilities,  
Nuclear Regulation Department

大村 哲臣 直井 佑希子

OHMURA Tetsuo and NAOI Yukiko

原子力規制部 原子力規制企画課

Nuclear Regulation Policy Planning Division, Nuclear Regulation Department

## 原子力規制庁

## 長官官房技術基盤グループ

Regulatory Standard and Research Department,

Secretariat of Nuclear Regulation Authority (S/NRA/R)

令和 5 年 9 月  
September 2023

本報告は、原子力規制庁長官官房技術基盤グループが行った安全研究等の成果をまとめたものです。原子力規制委員会は、これらの成果が広く利用されることを期待し適時に公表することとしています。なお、本報告の内容を規制基準、評価ガイド等として審査や検査に活用する場合には、別途原子力規制委員会の判断が行われることとなります。

本報告の内容に関するご質問は、下記にお問い合わせください。

原子力規制庁 長官官房 技術基盤グループ 放射線・廃棄物研究部門  
〒106-8450 東京都港区六本木 1-9-9 六本木ファーストビル  
電話：03-5114-2225  
ファックス：03-5114-2235

## 地層処分の概要調査地区等の選定時に安全確保上少なくとも考慮されるべき事項の背景及び根拠

原子力規制庁 長官官房技術基盤グループ 放射線・廃棄物研究部門  
鏡 健太 木嶋 達也 青木 広臣

原子力規制庁 原子力規制部 研究炉等審査部門  
志間 正和

原子力規制庁 原子力規制部 原子力規制企画課  
大村 哲臣 直井 佑希子

### 要 旨

使用済燃料の再処理過程で発生する高レベル放射性廃棄物や一部の低レベル放射性廃棄物（低レベル放射性廃棄物のうち、半減期の長い核種を一定以上含む廃棄物。）の処分については、特定放射性廃棄物の最終処分に関する法律（平成 12 年法律第 117 号）に基づき、原子力発電環境整備機構により段階的な調査（文献調査、概要調査、精密調査）を経て最終処分施設建設地の選定が行われることとされている。

最終処分施設建設地の選定の後、核原料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律（昭和 32 年法律第 166 号）に基づき、原子力発電環境整備機構から第一種廃棄物埋設の事業許可申請が行われることが想定される。

特定放射性廃棄物の最終処分に関する法律に基づき、平成 27 年 5 月に閣議決定された「特定放射性廃棄物の最終処分に関する基本方針」では、「原子力規制委員会は、最終処分に関する安全の確保のための規制に関する事項について、順次整備し、それを厳正に運用することが必要である。原子力規制委員会は、概要調査地区等の選定が合理的に進められるよう、その進捗に応じ、将来の安全規制の具体的な審査等に予断を与えないとの大前提の下、概要調査地区等の選定時に安全確保上少なくとも考慮されるべき事項を順次示すことが適当である。」とされている。

原子力規制委員会は、上記の特定放射性廃棄物の最終処分に関する基本方針を受け、地層処分において安全確保上少なくとも考慮されるべき事項について検討し、令和 4 年 1 月から 7 回にわたり審議を重ねてきた。審議に当たっては、我が国における火山の発生メカニズム等についての最新の科学的知見を確認する観点から、火山の専門家からの意見聴取を公開で 3 回実施した。

審議の結果、原子力規制委員会は、令和 4 年 8 月 24 日に「特定放射性廃棄物の最終処分

における概要調査地区等の選定時に安全確保上少なくとも考慮されるべき事項」を決定した。

本技術ノートでは、上記の考慮事項の決定に至るまでの経緯等について公開資料を取りまとめ、背景及び根拠を概説した。

Background and Evidences of the Considerations to Ensure Nuclear Safety  
in the Site Selection Phases for Geological Disposal

KAGAMI Kenta, KIJIMA Tatsuya, and AOKI Hiroomi

Division of Research for Radiation Protection and Radioactive Waste Management,  
Regulatory Standard and Research Department,  
Secretariat of Nuclear Regulation Authority (S/NRA/R)

SHIMA Masakazu

Division of Licensing for Research Reactors, Use of Nuclear Material and Specified Nuclear  
Facilities, Nuclear Regulation Department,  
Secretariat of Nuclear Regulation Authority

OHMURA Tetsuo and NAOI Yukiko

Nuclear Regulation Policy Planning Division, Nuclear Regulation Department,  
Secretariat of Nuclear Regulation Authority

Abstract

The selection of a site for the construction of a final disposal facility for high-level radioactive waste generated in the spent fuel reprocessing process and a kind of low-level radioactive waste containing long-lived radionuclides will be undertaken as stepwise investigation processes based on the “Designated Radioactive Waste Final Disposal Act”. The Nuclear Waste Management Organization of Japan (NUMO) will select the final disposal facility site after completing these processes, namely the literature survey, preliminary investigation and detailed investigation.

NUMO will be a licensee for the business of Category 1 waste disposal according to the Act on the Regulation of Nuclear Source Material, Nuclear Fuel Material and Reactors after the selection of the final disposal facility site.

Based on the “Designated Radioactive Waste Final Disposal Act”, the “Basic policy on the final disposal of designated radioactive wastes” which was decided by the Cabinet of Japan in May 2015, stated:

- Nuclear Regulation Authority (NRA) is required to develop step by step matters related to regulations for ensuring safety regarding final disposal and to strictly enforce them.
- In order for the process of the selection to progress in a reasonable manner, it is appropriate for the NRA, sequentially responding to the progress, to provide essential points to be

considered to ensure nuclear safety in the selection of preliminary and detailed investigation areas, under the basic premise that any prejudgment won't be made for the specific safety regulatory review in the future.

The NRA has discussed the “considerations to ensure nuclear safety in the site selection phases for geological disposal” seven times since January 2022, responding to the “Basic policy on the final disposal of designated radioactive wastes”. During the discussion, the NRA spent time gaining a deeper understanding and confirming the latest scientific knowledge of the mechanism of volcanic activity with some volcanology experts three times with public communication. Finally, the NRA decided the “considerations to ensure nuclear safety in the site selection phases for geological disposal” on August 24, 2022.

This NRA technical note summarized the details that led up to the “considerations to ensure nuclear safety in the site selection phases for geological disposal” with their background and evidence using published documents.

## 目 次

1.	背景と経緯.....	1
1.1	検討の背景.....	1
1.2	検討の経緯.....	2
1.3	技術ノート的位置付け.....	2
2.	検討の範囲と方向性.....	8
2.1	検討の範囲.....	8
2.2	検討の方向性.....	8
3.	我が国における火山の発生メカニズムとその地域性.....	14
3.1	火山の専門家からの意見聴取.....	14
3.2	我が国における火山の発生メカニズム等について.....	14
3.3	原子力規制委員会での議論について.....	15
4.	考慮事項とその考え方.....	16
4.1	考慮事項の決定に当たって.....	16
4.1.1	経済産業省及び NUMO との意見交換.....	16
4.1.2	科学的・技術的意見の募集.....	17
4.2	考慮事項.....	17
4.3	考慮事項の考え方及び科学的・技術的意見に対する回答.....	17
4.3.1	前文.....	18
4.3.2	断層等に係る考慮事項の考え方.....	20
4.3.3	火山現象に係る考慮事項の考え方.....	23
4.3.4	侵食に係る考慮事項の考え方.....	25
4.3.5	鉱物資源等の掘採に係る考慮事項の考え方.....	26
4.3.6	考慮事項の対象とした事象以外の事象.....	27
5.	おわりに.....	33
	参考文献一覧.....	34
	付録 1 我が国の地殻変動等に関する参考文献及び関連部分の抜粋.....	37
	付録 2 火山の発生メカニズム等に関する意見聴取会合 参加者名簿.....	40
	付録 3 我が国における火山の発生メカニズム等に関する科学的・技術的知見の整理....	41
	付録 4 我が国における火山の発生メカニズム等について（事務局が収集した情報とその理解）.....	45
	付録 5 考慮事項の全文.....	56

付録6 特定放射性廃棄物の最終処分における概要調査地区等の選定時に安全確保上少なくとも考慮されるべき事項と中深度処分の規制基準との比較表.....	58
執筆者一覧 .....	62



## 表 目 次

表 1.1	原子炉等規制法及び最終処分法における地層処分対象廃棄物 .....	3
表 1.2	最終処分法における概要調査地区等の選定に係る調査項目及び基準 .....	6
表 1.3	原子力規制委員会における考慮事項の検討経緯.....	7
表 2.1	検討対象とする事象及び各事象が公衆に著しい被ばくを与えるプロセス .....	8
表 2.2	中深度処分の廃棄物埋設地の設置場所に関する規制基準における断層運動や火山現象等に関する規定 .....	10

## 目 次

図 1.1	地下施設のイメージ.....	4
図 1.2	高レベル放射性廃棄物処分場の人工バリア .....	4
図 1.3	一部の低レベル放射性廃棄物処分場の人工バリア .....	5
図 1.4	地層処分の申請までの流れ .....	5
図 2.1	放射性廃棄物の放射能濃度と時間の関係 .....	12
図 2.2	放射性廃棄物に含まれる放射性核種の放射能濃度を各核種のクリアランスレ ベルで除した値の合計（0 年目におけるピット処分対象廃棄物についての合 計値を 1 として規格化）と時間の関係.....	13

## 用語の定義

アセノスフェア	プレートすなわちリソスフェアの下位にあつて、相対的に流動性に富んだ軟らかい層。岩流圏とも呼ばれる。
海水準変動	約 10 万年の氷期・間氷期サイクルにより大陸氷床量の増減等で生じる世界的な海面の上下変化。この氷期・間氷期サイクルは今後も継続し、現在の後氷期はいずれ氷期に入り、次の氷期終了までは大局的に海面は低下するとされている。
概要調査	特定放射性廃棄物の最終処分に関する法律(平成 12 年法律第 117 号)(以下「最終処分法」という。)に基づく最終処分施設建設地の選定のための文献調査、概要調査、精密調査という段階的な調査のうち、文献調査に続いて行う調査。概要調査地区の中から精密調査地区を選定。最終処分を行おうとする地層やその周辺の地層に対し、空中や地表、水上、水中からの物理探査や、地表での地表踏査やボーリング調査等を行う(最終処分法第 2 条第 10 項)。
概要調査地区等	概要調査地区、精密調査地区及び最終処分施設建設地のことをいう。
火山フロント	沈み込み帯に形成される火山は、海溝から一定の距離が離れた場所に集中する。この火山分布の海溝側の端を結んだ線をいう。火山は、沈み込んだ海洋プレートの深さが 100～150km に達したところの地表に、海溝軸にほぼ平行に分布している。
活断層	最近の地質時代に繰り返し活動し、将来も活動することが推定される断層のこと
ガラス固化体	使用済燃料を溶解した液体から核燃料物質その他の有用物質を分離した残りの液体をガラスにより容器に固型化した物(核燃料物質又は核燃料物質によって汚染された物の第一種廃棄物埋設の事業に関する規則(平成 20 年経済産業省令第 23 号)第 62 条)
キャニスタ容器	ガラス固化体を固型化するために使用されるステンレス製の容器
クリアランスレベル	工場等において用いた資材その他の物に含まれる放射性物質についての放射能濃度が放射線による障害の防止のための措置を必要としないものとして原子力規制委員会規則で定める基準(核原料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律(昭和 32 年法律第 166 号)(以下「原子炉等規制法」という。)第 61 条の 2)
原子力発電環境整備機構	最終処分法に基づき、特定放射性廃棄物の最終処分の実施等の業

	務を行う組織（略称：NUMO「ニューモ」）
更新世（後期更新世）	更新世とは、258万8千年前から11,700年前までを指す。前期、中期、後期に分けられ、後期更新世は、約12～13万年前以降を指す。
鉱物資源	鉱業法（昭和25年法律第289号）第3条第1項に規定されている鉱物（金鉱、銀鉱、銅鉱、鉛鉱、そう鉛鉱、すず鉱、アンチモニー鉱、水銀鉱、亜鉛鉱、鉄鉱、硫化鉄鉱、クローム鉄鉱、マンガン鉱、タングステン鉱、モリブデン鉱、ひ鉱、ニッケル鉱、コバルト鉱、ウラン鉱、トリウム鉱、りん鉱、黒鉛、石炭、亜炭、石油、アスファルト、可燃性天然ガス、硫黄、石こう、重晶石、明ばん石、ほたる石、石綿、石灰石、ドロマイト、けい石、長石、ろう石、滑石、耐火粘土（ゼーゲルコーン番号三十一以上の耐火度を有するものに限る。）及び砂鉱（砂金、砂鉄、砂すずその他沖積鉱床をなす金属鉱をいう。))をいう。
高レベル放射性廃棄物	我が国においては、ガラス固化体をいう。使用済燃料を直接処分する国においては、使用済燃料が高レベル放射性廃棄物に該当する（HLW：High Level radioactive Waste）。
自然事象	自然現象に起因する事象
人為事象	人間活動に起因する事象
人工バリア	廃棄物埋設地の構築物であって、廃棄物埋設地の外への放射性物質の漏出の防止及び低減のための機能を有するもの（第二種廃棄物埋設施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則（平成25年原子力規制委員会規則第30号）（以下「二種埋許可基準規則」という。）第2条第2項第3号）
生活環境	埋設した放射性廃棄物に含まれる放射性物質が移動して人の被ばくに至るまでの経路が含まれる環境のうち、一般的に人が生活を営む範囲（例えば河川や湖沼、海洋、農地、宅地など）
精密調査	最終処分法に基づく最終処分施設建設地の選定のための文献調査、概要調査、精密調査という段階的な調査のうち、文献調査、概要調査に続く三番目（最終）の調査。概要調査よりも高精度かつ緻密に、地表踏査、物理探査、ボーリング調査等を実施した後、地下の調査坑道（トンネル）を設けて、岩盤や地下水の特性に関する調査・試験等を実施（最終処分法第2条第11項）。
浅地中処分	ピット処分及びトレンチ処分
前弧域	火山フロントに対し、海溝側に位置する地域
第一種廃棄物	核燃料物質又は核燃料物質によって汚染された物の放射能濃度

	<p>が人の健康に重大な影響を及ぼすおそれがあるものとして定める基準（核原料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律施行令（昭和 32 年政令第 324 号）（以下「原子炉等規制法施行令」という。）第 31 条を超えるもの（原子炉等規制法第 51 条の 2 第 1 項第 1 号）</p>
第一種廃棄物埋設	<p>第一種廃棄物の埋設による最終的な処分（原子炉等規制法第 51 条の 2 第 1 項第 1 号）。日本では地層処分が想定されている。</p>
第二種廃棄物	<p>核燃料物質又は核燃料物質によって汚染された物の放射能濃度が人の健康に重大な影響を及ぼすおそれがあるものとして定める基準（原子炉等規制法施行令第 31 条）を超えないもの（原子炉等規制法第 51 条の 2 第 1 項第 2 号）</p>
第二種廃棄物埋設	<p>第二種廃棄物の埋設による最終的な処分（原子炉等規制法第 51 条の 2 第 1 項第 2 号）</p>
地温勾配	<p>深度の増分に対する地温の増分の比</p>
地層処分	<p>放射性核種を生活環境から長期的に隔離するために地下（通常は地表下数百メートル以上）の安定した地層に設置される放射性廃棄物処分場への放射性廃棄物の埋設処分。原子炉等規制法における第一種廃棄物埋設をいう。</p>
地殻変動	<p>地球の表面を構成する地殻に力が加わり、生じた変動を地表面の変形として捉えたもの。地殻変動には様々なタイプがあり、地質学的な長期間にわたって山脈が隆起したり、平野が沈降したり、プレートが移動するようなものから、短時間に生じる地震時の変動など、様々な時間的・地域的スケールを持っている。</p>
地熱資源	<p>地下の高温の蒸気や熱水</p>
中深度処分	<p>地表から深さ 70 メートル以上の地下に設置された廃棄物埋設地において放射性廃棄物を埋設の方法により最終的に処分すること（核燃料物質又は核燃料物質によつて汚染された物の第二種廃棄物埋設の事業に関する規則（昭和 63 年総理府令第 1 号）（以下「二種埋事業規則」という。）第 1 条の 2 第 2 項第 3 号）</p>
長半減期核種	<p>放射性廃棄物に含まれる半減期が数千年以上と長い放射性物質</p>
天然バリア	<p>廃棄物埋設地から漏出した放射性物質の生活環境への移動を抑制する機能を有する岩盤等（第二種廃棄物埋設施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則の解釈（原管廃発第 1311277 号）（以下「二種埋許可基準解釈」という。）第 12 条 8 ニイ）</p>
特定放射性廃棄物	<p>最終処分法に基づき最終的に処分される放射性廃棄物。使用済燃料の再処理に伴い発生した残存物を固型化したもの（ガラス固化</p>

	体)等を指す(最終処分法第2条第1項)。
トレンチ処分	地上又は地表から深さ70メートル未満の地下に設置された廃棄物埋設地において二種埋事業規則別表第二の上欄に掲げる放射性物質についての放射能濃度がそれぞれ同表の下欄に掲げる放射能濃度を超えない放射性廃棄物を埋設の方法(ピット処分のイ及びロの方法を除く。)により最終的に処分すること(二種埋事業規則第1条の2第2項第5号)
廃棄体	容器に封入し、又は容器に固型化した放射性廃棄物
背弧域	火山フロントに対し、海溝の反対側に位置する地域
廃棄物埋設施設	廃棄物埋設地及びその附属施設(原子炉等規制法第51条の2)
廃棄物埋設地	放射性廃棄物を埋設するための掘削された区域
ピット処分	地上又は地表から深さ70メートル未満の地下に設置された廃棄物埋設地において二種埋事業規則別表第一の上欄に掲げる放射性物質についての放射能濃度がそれぞれ同表の下欄に掲げる放射能濃度を超えない放射性廃棄物を埋設の方法(次のいずれかの方法に限る。)により最終的に処分すること イ 外周仕切設備を設置した廃棄物埋設地に放射性廃棄物を定置する方法 ロ 外周仕切設備を設置しない廃棄物埋設地に放射性廃棄物を一体的に固型化する方法 (二種埋事業規則第1条の2第2項第4号)
文献調査	最終処分法に基づく最終処分施設建設地の選定のための文献調査、概要調査、精密調査という段階的な調査のうち、最初に行う調査。全国規模の文献・データに加え、地域固有の文献・データを用いる調査(最終処分法第6条第1項)
放射性廃棄物	核燃料物質又は核燃料物質によって汚染された物で廃棄しようとするもの
マントルウェッジ	沈み込み帯において、沈み込むプレートと沈み込まれたプレートに挟まれたくさび形のマントル領域を指す。
リソスフェア	地表から上部マントルの低速度層の始まる深さまでの比較的硬い層。地殻と上部マントルの最上部で構成されている。プレートとほぼ同義。

## 1. 背景と経緯

### 1.1 検討の背景

使用済燃料の再処理過程で発生する高レベル放射性廃棄物（以下「HLW」という。）や一部の低レベル放射性廃棄物（低レベル放射性廃棄物のうち、半減期の長い核種を一定以上含む廃棄物。HLW と併せて以下「HLW 等」という。表 1.1 参照）の処分（図 1.1、図 1.2 及び図 1.3 参照）については、特定放射性廃棄物の最終処分に関する法律（平成 12 年法律第 117 号）（以下「最終処分法」という。）に基づき、原子力発電環境整備機構（NUMO）により段階的な調査（文献調査、概要調査、精密調査。表 1.2 参照）を経て最終処分施設建設地の選定が行われることとされている<sup>1</sup>。

最終処分施設建設地の選定の後、核原料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律（昭和 32 年法律第 166 号）（以下「原子炉等規制法」という。）に基づき<sup>2</sup>、NUMO から第一種廃棄物埋設の事業許可申請が行われることが想定される（図 1.4 参照）。

文献調査については、NUMO は令和 2 年 11 月、北海道の寿都郡寿都町及び古宇郡神恵内村において文献調査を実施するための計画書を示した<sup>3,4</sup>。資源エネルギー庁の当初の計画<sup>5</sup>では、文献調査は約 2 年間の予定であることが示されていたため、早ければ令和 4 年 11 月には文献調査が終了することが予想されていた。

また、最終処分法においては、特定放射性廃棄物（表 1.1 に示す第一種特定放射性廃棄物及び第二種特定放射性廃棄物をいう。）の最終処分を計画的かつ確実に実施させるために、経済産業大臣が「特定放射性廃棄物の最終処分に関する基本方針」（以下、「基本方針」という。）を定め、公表するとされている（最終処分法第 3 条第 1 項）。その際、経済産業大臣は原子力規制委員会の意見を聴かなければならない（最終処分法第 3 条第 3 項）とされており、基本方針を改定する場合においても同様となっている（最終処分法第 3 条第 6 項）。

最終処分法に基づき平成 12 年 9 月の閣議決定で策定された基本方針であるが、原子力規制委員会の関与は、平成 27 年の基本方針の改定で行われた。この改定に当たって、経済産業省は、原子力規制委員会に意見照会を行っている。これに対し、原子力規制委員会は、平成 27 年度第 1 回原子力規制委員会において下記の旨を回答することを決定している<sup>6</sup>。

「最終処分に関する政策や最終処分事業の可逆性を担保」する場合、その内容如何によっては「最終処分に関する安全の確保のための規制に関する事項」や「概要調査地区等の選定時に安全確保上少なくとも考慮されるべき事項」に影響を及ぼす可能性があることから、これらの検討に支障が生じる可能性がある。こうした認識が共有されるのであれば、意見照会のあった基本方針の改定について、異存はない。

原子力規制委員会への意見聴取を踏まえ、平成 27 年 5 月に閣議決定された基本方針<sup>7</sup>では、「原子力規制委員会は、最終処分に関する安全の確保のための規制に関する事項について、順次整備し、それを厳正に運用することが必要である。原子力規制委員会は、概要調査地区等の選定が合理的に進められるよう、その進捗に応じ、将来の安全規制の具体的な

審査等に予断を与えないとの大前提の下、概要調査地区等の選定時に安全確保上少なくとも考慮されるべき事項を順次示すことが適当である。」とされている。

## 1.2 検討の経緯

原子力規制委員会は、基本方針を受け、地層処分において安全確保上少なくとも考慮されるべき事項について検討し、令和4年1月から7回にわたり審議を重ねている（表 1.3 参照）。原子力規制委員会における審議に加えて、我が国における火山の発生メカニズム等についての最新の科学的知見を確認する観点から、火山の専門家からの意見聴取が公開で3回実施されている。

審議の結果、原子力規制委員会は、令和4年8月24日に「特定放射性廃棄物の最終処分における概要調査地区等の選定時に安全確保上少なくとも考慮されるべき事項」（以下「考慮事項」という。）を決定した<sup>8</sup>。

## 1.3 技術ノート的位置付け

本技術ノートは、考慮事項の決定に至るまでの経緯等について、これまでの原子力規制委員会、火山の発生メカニズム等に関する意見聴取会合の公開資料等に示された内容を取りまとめ、背景及び根拠を概説したものである。また、原子力規制委員会の議論や原子力規制委員会委員の発言を受けた、考慮事項に関する著者らの見解も記載した。

ただし、本技術ノートの記載内容に関して原子力規制委員会及び原子力規制庁の決定や承認を得ていない。したがって、本技術ノートが、考慮事項等の理解や解釈を含め、今後の考慮事項に関する規制活動を拘束するものではない。



表 1.1 原子炉等規制法及び最終処分法における地層処分対象廃棄物

Table 1.1 Comparison of the Category 1 waste defined by Nuclear Regulation Act with the waste defined by Final disposal Act

原子炉等規制法における 第一種廃棄物	最終処分法の対象廃棄物
<p>○核燃料物質又は核燃料物質によって汚染された物の放射能濃度が人の健康に重大な影響を及ぼすおそれがあるものとして以下に定める基準<sup>(注1)</sup>を超えるもの</p> <p>C-14 : 10 PBq/t</p> <p>Cl-36 : 10 TBq/t</p> <p>Tc-99 : 100 TBq/t</p> <p>I-129 : 1 TBq/t</p> <p>α核種 : 100 GBq/t</p>	<p>○第一種特定放射性廃棄物 (HLW)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・残存物<sup>(注2)</sup>を固型化した物</li> <li>・代替取得<sup>(注3)</sup>により取得した物</li> </ul> <p>○第二種特定放射性廃棄物<sup>(注4)</sup> (一部の低レベル放射性廃棄物)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ハル・エンドピース (使用済燃料の再処理に伴ってせん断された金属)</li> <li>・濾過フィルタ</li> <li>・使用済燃料の再処理に用いられたりん酸トリブチル溶液の精製に用いられた炭酸ナトリウム溶液</li> <li>・廃銀吸着剤</li> <li>・その他、以下の濃度を超えるもの</li> </ul> <p>C-14 : 87 TBq/t</p> <p>Cl-36 : 96 GBq/t</p> <p>Tc-99 : 1.1 TBq/t</p> <p>I-129 : 6.7 GBq/t</p> <p>α核種 : 8.3 GBq/t</p>

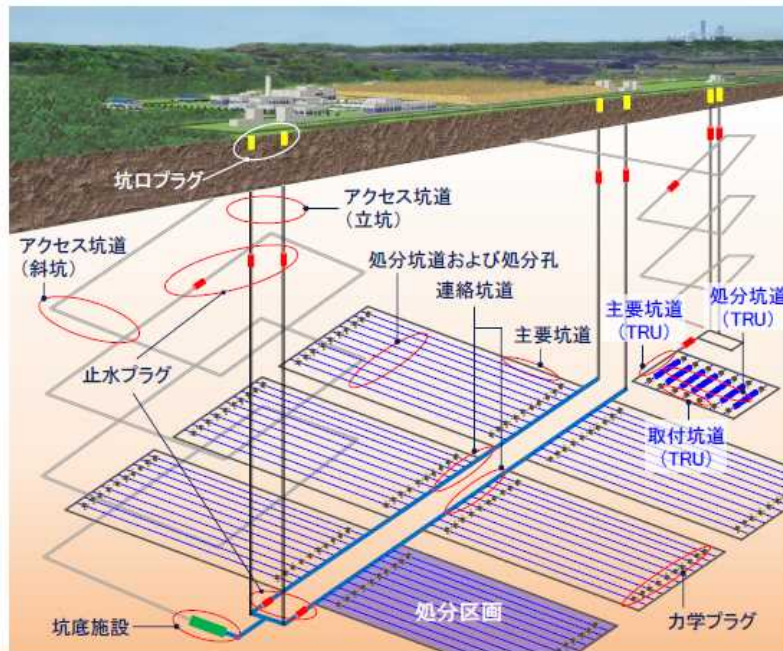
出典) 原子力規制庁<sup>9</sup> (著者らにより一部修正)

(注1) 原子炉等規制法施行令第31条において規定されている。

(注2) 使用済燃料の再処理に伴い使用済燃料から核燃料物質その他の有用物質を分離した後に残存する物をいう (最終処分法第2条第7項)。

(注3) 発電用原子炉設置者が、その発電用原子炉の運転に伴って生じた使用済燃料の国外における使用済燃料の再処理又は特定加工に伴い使用済燃料、分離有用物質又は残存物によって汚染される物 (以下「被汚染物」という。) に替えて、原子炉に燃料として使用した核燃料物質その他原子核分裂をさせた核燃料物質を化学的方法により処理することにより当該核燃料物質から核燃料物質その他の有用物質を分離した後に残存する物を国外において固型化した物 (当該被汚染物を固型化し、又は容器に封入した場合における当該固型化し、又は容器に封入した物に比して、その量及び経済産業省令で定める方法により計算したその放射線による環境への影響の程度が大きくないものに限る。) を取得することをいう (最終処分法第2条第5項第4号)。

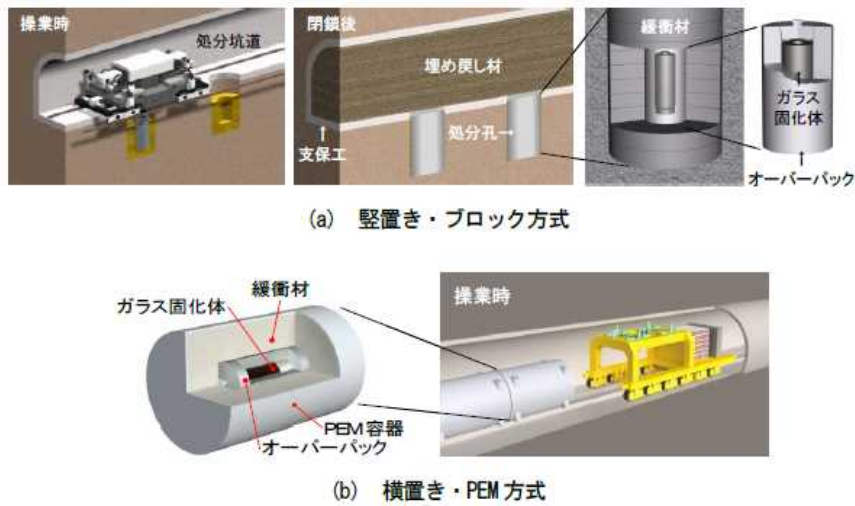
(注4) 使用済燃料の再処理等に伴い使用済燃料、分離有用物質又は残存物によって汚染された物を固型化し、又は容器に封入した物 (代替取得に係る被汚染物を固型化し、又は容器に封入した物を除く。) であって、長期間にわたり環境に影響を及ぼすおそれがあるものとして政令で定めるものをいう (最終処分法第2条第9項)。



出典) NUMO<sup>10(注1)</sup>

図 1.1 地下施設のイメージ

Fig. 1.1 Schematic image of underground facilities of geological disposal

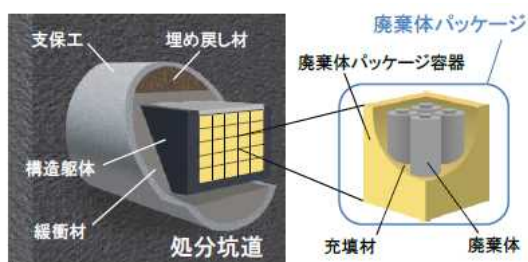


出典) NUMO<sup>10</sup>

図 1.2 高レベル放射性廃棄物処分場の人工バリア

Fig. 1.2 Engineered barrier system for geological disposal of HLW

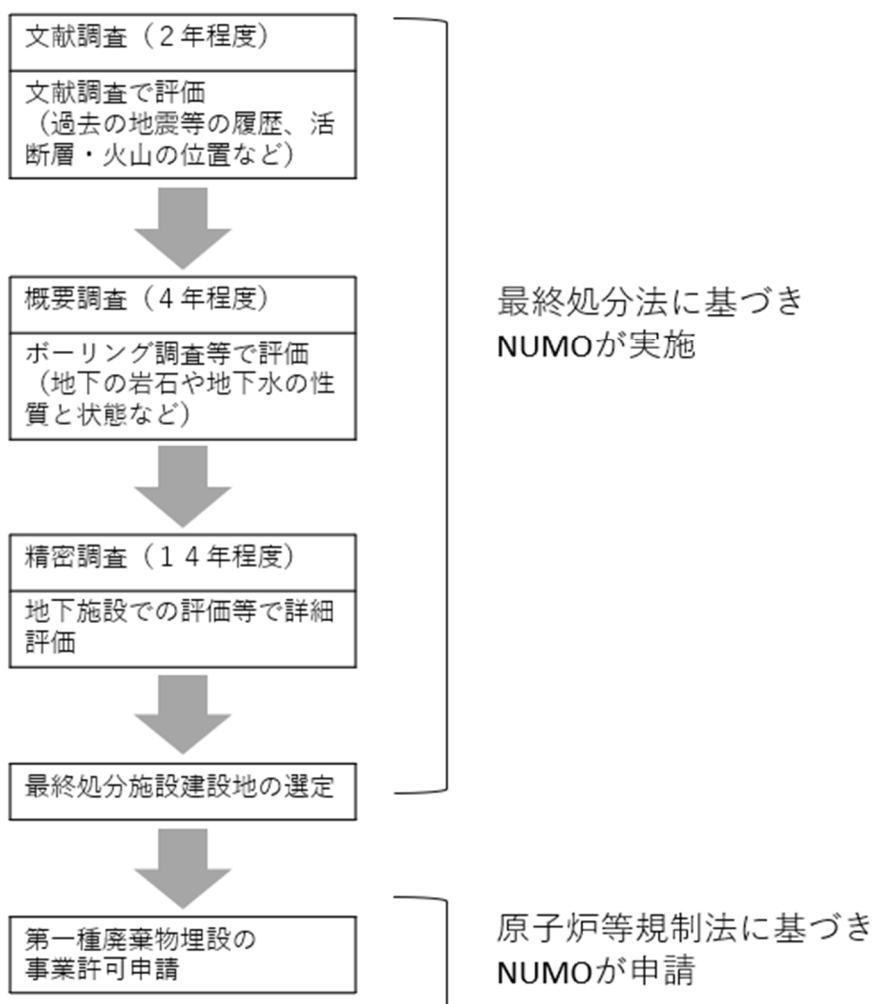
(注1) 図中の「TRU」について、出典では「超ウラン」と記載されている<sup>10</sup>。



出典) NUMO<sup>10</sup>

図 1.3 一部の低レベル放射性廃棄物処分場の人工バリア

Fig. 1.3 Engineered barrier system for geological disposal of a kind of low-level radioactive waste



出典) 資源エネルギー庁提供資料<sup>5</sup>をもとに著者らが作成

図 1.4 地層処分の申請までの流れ

Fig. 1.4 Steps to licensing for geological disposal

表 1.2 最終処分法における概要調査地区等の選定に係る調査項目及び基準

Table 1.2 Investigation items and criteria for site selection phases defined by the Final Disposal Act

	調査項目	基準
概要調査地区選定(文献調査)	<p>(第6条第1項)</p> <p>一 概要調査地区として選定しようとする地区及びその周辺の地域において過去に発生した地震等の自然現象に関する事項</p> <p>二 前号の地区及び地域内に活断層があるときは、その概要に関する事項</p> <p>三 その他経済産業省令で定める事項 ※(省令)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・第四紀の未固結堆積物があるときは、その存在状況の概要に関する事項</li> <li>・鉱物資源があるときは、その存在状況の概要に関する事項</li> </ul>	<p>(第6条第2項)</p> <p>一 当該文献調査対象地区において、地震等の自然現象による地層の著しい変動の記録がないこと。</p> <p>二 当該文献調査対象地区において、将来にわたって、地震等の自然現象による地層の著しい変動が生ずるおそれが少ないと見込まれること。</p> <p>三 その他経済産業省令で定める事項 ※(省令)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・第四紀の未固結堆積物であるとの記録がないこと。</li> <li>・その掘採が経済的に価値が高い鉱物資源の存在に関する記録がないこと。</li> </ul>
精密調査地区選定(概要調査)	<p>(第7条第1項)</p> <p>一 当該概要調査地区内の最終処分を行うおとす地層及びその周辺の地層(以下この条において「対象地層等」という。)における地震等の自然現象による対象地層等の変動に関する事項</p> <p>二 当該対象地層等を構成する岩石の種類及び性状に関する事項</p> <p>三 当該対象地層等内に活断層があるときは、その詳細に関する事項</p> <p>四 当該対象地層等内に破碎帯又は地下水の水流があるときは、その概要に関する事項</p> <p>五 その他経済産業省令で定める事項</p>	<p>(第7条第2項)</p> <p>一 当該対象地層等において、地震等の自然現象による地層の著しい変動が長期間生じていないこと。</p> <p>二 当該対象地層等が坑道の掘削に支障のないものであること。</p> <p>三 当該対象地層等内に活断層、破碎帯又は地下水の水流があるときは、これらが坑道その他の地下の施設(次条第二項各号において「地下施設」という。)に悪影響を及ぼすおそれが少ないと見込まれること。</p> <p>四 その他経済産業省令で定める事項</p>
最終処分施設建設地の選定(精密調査)	<p>(第8条第1項)</p> <p>一 当該精密調査地区内の最終処分を行うおとす地層(以下この条において「対象地層」という。)を構成する岩石の強度その他の当該対象地層の物理的性質に関する事項</p> <p>二 当該対象地層内の水素イオン濃度その他の当該対象地層の化学的性質に関する事項</p> <p>三 当該対象地層内に地下水の水流があるときは、その詳細に関する事項</p> <p>四 その他経済産業省令で定める事項</p>	<p>(第8条第2項)</p> <p>一 地下施設が当該対象地層内において異常な圧力を受けるおそれがないと見込まれることその他当該対象地層の物理的性質が最終処分施設の設置に適していると見込まれること。</p> <p>二 地下施設が当該対象地層内において異常な腐食作用を受けるおそれがないと見込まれることその他当該対象地層の化学的性質が最終処分施設の設置に適していると見込まれること。</p> <p>三 当該対象地層内にある地下水又はその水流が地下施設の機能に障害を及ぼすおそれがないと見込まれること。</p> <p>四 その他経済産業省令で定める事項</p>

出典) 原子力規制庁<sup>9</sup>

表 1.3 原子力規制委員会における考慮事項の検討経緯

Table 1.3 Timeline of development of “the considerations to ensure nuclear safety in the site selection phases” at Nuclear Regulation Authority (NRA)

日付	原子力規制委員会議題等
令和4年	令和3年度第60回原子力規制委員会 <sup>9</sup>
1月19日	第1回目－検討方針案－
2月2日	令和3年度第63回原子力規制委員会 <sup>11</sup> 第2回目－火山の専門家への意見聴取－
3月3日	火山の発生メカニズム等に関する意見聴取会合（第1回）
3月17日	火山の発生メカニズム等に関する意見聴取会合（第2回）
4月28日	火山の発生メカニズム等に関する意見聴取会合（第3回）
5月18日	令和4年度第10回原子力規制委員会 <sup>12</sup> 第3回目－火山の専門家への意見聴取結果－
5月25日	令和4年度第12回原子力規制委員会 <sup>13</sup> 第4回目－考慮事項の考え方－
6月8日	令和4年度第15回原子力規制委員会 <sup>14</sup> 第5回目－考慮事項案－
6月29日	令和4年度第19回原子力規制委員会 <sup>15</sup> 第6回目－経済産業省及びNUMOとの意見交換－
8月24日	令和4年度第31回原子力規制委員会 <sup>16</sup> 第7回目－考慮事項の決定等－

## 2. 検討の範囲と方向性

### 2.1 検討の範囲

令和3年度第60回原子力規制委員会において、原子力規制庁は考慮事項の検討の範囲として、概要調査地区の選定の際に特に考慮されると考えられる施設の設置場所に関する事項として、以下を対象とすることと整理している<sup>9</sup>。

- ・ 廃棄物埋設地に埋設された HLW 等を起因として公衆に著しい被ばくを与えるおそれがある事象のうち、廃棄物埋設地の設計（構造及び設備）による対応が困難であり、廃棄物埋設地の設置を避けることにより対応する必要があるもの

上記に該当する事象としては、「生活環境への放射性物質の移動の促進や放射性廃棄物の生活環境への放出・接近をもたらすおそれがある事象が挙げられる（表 2.1 参照）」と整理している<sup>9</sup>。

表 2.1 検討対象とする事象及び各事象が公衆に著しい被ばくを与えるプロセス

Table 2.1 Events to be considered and the process by which each event causes significant exposure to the public

事象		公衆に著しい被ばくを与えるプロセス
自然事象	断層運動、地すべり	【人工バリア等の損傷及び生活環境への放射性物質の移動の促進】 ・断層運動や地すべりにより変位が生じると、人工バリアや放射性廃棄物の損傷を引き起こすおそれがある。 また、廃棄物埋設地において規模の大きい断層が存在すると、人工バリアの性能が低下した後において、当該断層が地下水流動経路となり、生活環境への放射性物質の移動が長期にわたり促進されるおそれがある。
	火山現象	【生活環境への放射性廃棄物の放出】 ・廃棄物埋設地に噴火やマグマの貫入が発生すると、廃棄物埋設地が破壊され、放射性廃棄物が地表に放出されるおそれがある。
	侵食	【生活環境への放射性廃棄物の接近】 ・隆起及び海水準変動に伴う侵食による深度の減少により、放射性廃棄物が生活環境に接近するおそれがある。
人為事象	鉱物資源等の掘採	【生活環境への放射性廃棄物の放出等】 ・鉱物資源や地熱資源が存在する場所に廃棄物埋設地を設置した場合、偶発的な掘削を誘引し、掘削者が放射性廃棄物に接近するおそれや、生活環境に放射性物質が放出されるおそれがある。

出典) 原子力規制庁<sup>9</sup>

### 2.2 検討の方向性

表 2.1 に挙げた自然事象に対し、原子力規制庁は、考慮事項の内容を、以下の（1）及び（2）に留意して検討することとした<sup>9</sup>。

- (1) HLW の放射能特性を踏まえ、表 2.2 に示す中深度処分の規制基準（二種埋許可基準規則及び二種埋許可基準規則解釈）と共通的な事項や、追加して考慮することが必要な事項を整理する。
- (2) 将来における地殻変動の方向や速度については、以下に示す我が国における地殻変動の継続性についての科学的知見を踏まえ、現在における傾向と同様であるとの前提を置く。
- ① 表 2.1 に挙げた自然事象の将来の変遷については不確実性があるものの、過去に生じた事象の発生のメカニズムや周期性などの科学的知見に基づけば、過去に生じた事象が同様の範囲で繰り返し生じる可能性は十分に想定され、当該事象の発生を今後将来の一定の期間外挿することには合理性があるものと考えられる。
- ② プレートシステムの転換に伴って、異なったステージの地殻変動が起こるとされており、このような場合には上記の自然事象の発生の傾向も大きく変化することが考えられる。ただし、プレートシステムの転換には100万年～1000万年以上の期間を要したとされており、今後直ちに地殻変動のステージが変わることは想定できない（付録1参照）。

(1) にある「HLW の放射能特性」とは、中深度処分対象の炉内等廃棄物の放射能濃度に比べて HLW の放射能濃度が高く、長半減期核種が多いという特性をいい(図 2.1 参照)、放射能濃度がどの時間断面で見ても炉内等廃棄物よりも約 4 桁程度高い(図 2.2 参照)ことが図より示されている。

HLW（ガラス固化体：重量約 500 キログラム）については、キャニスタ容器に固型化されている状態を想定して放射能濃度が算出されている。このとき、オーバーパック（ガラス固化体の遮蔽体となる金属製の収納容器）の重量は考慮されていない。また、過去の報告書<sup>17</sup>等を参考に製造後 50 年間の冷却期間が終了した時点をも 0 年として<sup>18</sup>、初期放射能濃度が算出されている。

図 2.2 の縦軸は、放射性廃棄物に含まれる個々の放射性核種の人への影響の与えやすさの大小を反映させるため、放射性廃棄物に含まれる放射性核種の放射能濃度を各核種のクリアランスレベルの値で除することによって規格化されている。この際、各放射性廃棄物の放射能濃度レベルを理解しやすくするため、0 年目におけるピット処分対象廃棄物について合計値が 1 になるように設定されている。

炉内等廃棄物については、沸騰水型軽水炉（BWR）、加圧水型軽水炉（PWR）及び黒鉛減速ガス冷却炉（GCR）の運転及び解体廃棄物のうち中深度処分の対象廃棄物として想定されているものから、放射能濃度が算出されている。放射能濃度の算出に当たっては、電気事業連合会より提出された代表的な照射履歴を想定した放射化計算<sup>19</sup>を基に、原子力規制庁により平均濃度として算出されている。当該放射能濃度は、廃棄物そのものに加え、廃棄物を収納する鋼鉄製容器を含む廃棄体の重量を考慮したものとなっている<sup>18</sup>。

表 2.2 中深度処分 の 廃棄物埋設地 の 設置場所 に関する 規制基準 における 断層運動 や 火山現象等 に関する 規定

Table 2.2 Regulatory standards regarding fault activity and volcanic phenomena defined for siting of intermediate depth disposal facility

断層運動、 地すべり	<p>○断層運動、その他の自然現象により人工バリアの著しい損傷が生じるおそれがないものであること。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・人工バリアを、次に掲げる断層等を避けて設置すること。             <ol style="list-style-type: none"> <li>①後期更新世以降（約12～13万年前以降）の活動が否定できない断層等のうち震源として考慮する活断層</li> <li>②上記①の活断層の活動に伴い損傷を受けた領域</li> <li>③後期更新世以降（約12～13万年前以降）の活動が否定できない断層等のうち地震活動に伴って永久変位が生じる断層及び変位を及ぼす地すべり面</li> <li>④上記①及び③の断層等以外のものであって規模が大きい断層</li> </ol> </li> <li>・人工バリアは、廃棄物埋設地の建設・施工時において上記③及び④の断層等が発見された場合には、当該断層等を避けて設置するとの方針としていること。</li> </ul>
火山現象	<p>○火山現象により人工バリアの著しい損傷が生じるおそれがないこと。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・廃棄物埋設地を、次に掲げる場所を避けて設置すること。             <ol style="list-style-type: none"> <li>①マグマの貫入による人工バリアの破壊が生ずるような第四紀（現在から約258万年前まで）における火山活動に係る火道、岩脈等の履歴が存在する場所</li> <li>②第四紀に活動した火山の活動中心からおおむね15キロメートル以内の場所</li> </ol> </li> </ul>
侵食	<p>○侵食により地表からの深さが七十メートル未満に減少するおそれがないものであること</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・廃棄物埋設地の位置について、隆起・沈降及び気候変動による大陸氷床量の増減に起因する海水準変動を考慮した侵食（廃棄物埋設地の近くに、河川がある場合は下刻の進展に伴って谷幅が広がる側方の侵食も考慮し、海岸がある場合は海食による侵食も考慮する）による10万年間の深度の減少を考慮しても、10万年後において廃棄物埋設地を鉛直方向に投影した地表面のうち、最も高度の低い地点から廃棄物埋設地の頂部までの距離が70メートル以上であること。</li> </ul>
鉱物資源等の掘採	<p>○鉱物資源又は発電の用に供する地熱資源の掘採が行われるおそれがないものであること。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・廃棄物埋設地の位置について、資源利用のための掘削が行われる可能性がある十分な量及び品位の鉱物資源の鉱床の存在を示す記録が存在しないこと並びに地温勾配が著しく大きくないこと。</li> </ul>

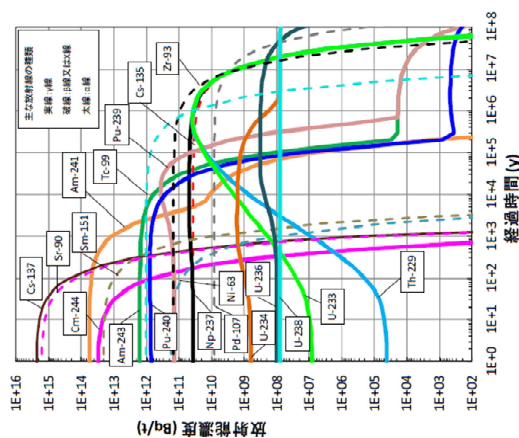
出典) 原子力規制庁<sup>9</sup> (著者らにより一部修正)



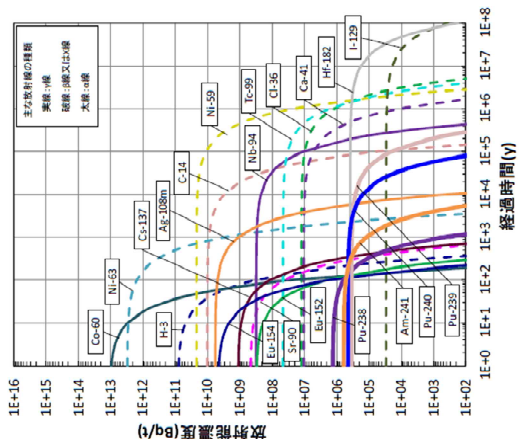
(1) 及び(2)を踏まえると、考慮事項の検討の方向性として、「生活環境に放射性廃棄物を放出させるおそれがある火山現象及び深度の減少をもたらす侵食に関しては特に留意が必要」と原子力規制庁は整理した<sup>9</sup>。このうち、侵食に関しては、十分な深度の確保により対応することが考えられるが、一方、火山現象に関しては、新たな火山の発生の可能性の考慮も含めて検討が必要と原子力規制庁は整理している<sup>9</sup>。

## 放射性廃棄物の放射能特性

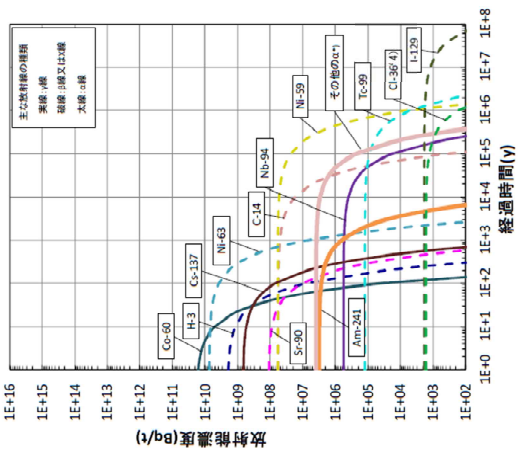
高レベル放射性廃棄物 1)



炉内等廃棄物 (平均) 2)



ピット処分対象廃棄物 (平均) 3)

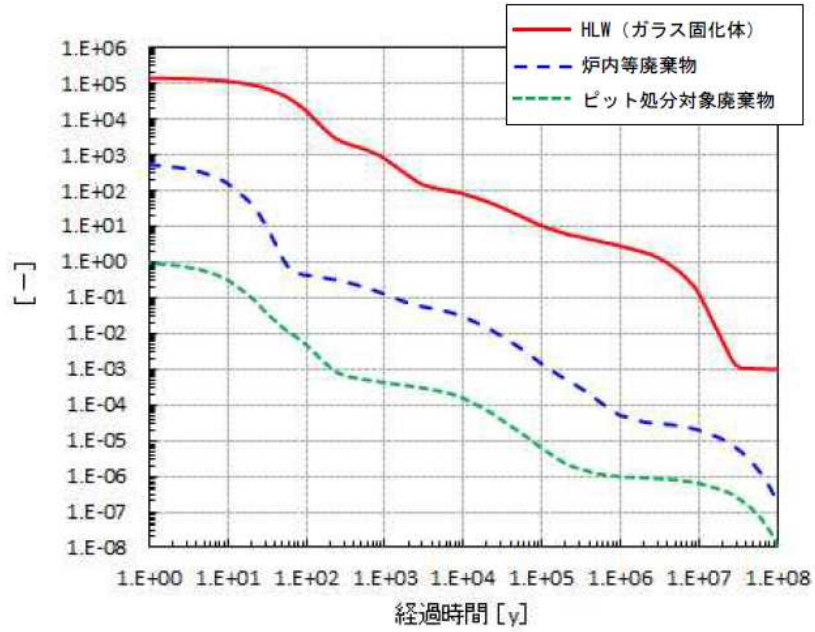


\* ) 半減期は Pu-239 で代表

- 1) 「高レベル放射性廃棄物ガラス固化体のインベントリ評価」核燃料サイクル開発機構東海事業所 (平成 11 年 11 月) の核燃料の燃焼条件等に基づき、原子力規制庁が計算
  - 2) BWR、PWR、GCR の運転及び解体廃棄物の平均放射能濃度 (= 総放射能量 / 廃棄体総重量) (電気事業連合会「余裕深度処分対象廃棄物に関する基本データ集 (一部改訂)」(平成 28 年 8 月 23 日) より作図)
  - 3) JNFL2 号埋設 (ピット処分) 事業許可申請書記載の平均放射能濃度 (日本原燃株式会社「六ヶ所低レベル放射性廃棄物埋設センター 廃棄物埋設事業変更許可申請書」(平成 9 年 1 月) より作図)
  - 4) 日本原燃株式会社「日本原燃 (株) 六ヶ所低レベル放射性廃棄物埋設センターにおける低レベル放射性廃棄物の線量評価と今後の対応について」(平成 23 年 8 月 31 日) より作図
- 出典) 原子力規制庁<sup>18</sup> (著者らにより一部修正)

図 2.1 放射性廃棄物の放射能濃度と時間の関係

Fig 2.1 Time sequence of radioactivities of several waste types



出典) 原子力規制庁<sup>9</sup>

図 2.2 放射性廃棄物に含まれる放射性核種の放射能濃度を各核種のクリアランスレベルで除した値の合計（0年目におけるピット処分対象廃棄物についての合計値を1として規格化）と時間の関係

Fig 2.2 Relationship between the sum of the radioactivity concentration of radionuclides in the radioactive waste divided by the clearance level of each radionuclide and time. (The total value for the waste to be disposed of in the pit in year 0 is normalized to 1.)

### 3. 我が国における火山の発生メカニズムとその地域性

原子力規制庁は、表 2.1 で挙げた自然事象のうち、火山現象に関しては特に留意が必要であることから、考慮事項の検討に先立ち、我が国における火山の発生メカニズムの特徴やその地域性等に関する科学的・技術的知見の拡充を目的として、火山の専門家からの意見聴取を実施することとした<sup>9</sup>。

#### 3.1 火山の専門家からの意見聴取

原子力規制庁は、我が国における火山の発生メカニズムの特徴やその地域性等に関する科学的・技術的知見の拡充を目的として、新たな火山の発生に関し文献から得た知見に基づく事務局（原子力規制庁原子力規制部研究炉等審査部門）の整理に対し、火山の専門家から以下の観点について意見聴取を実施した<sup>20</sup>（意見聴取会合の参加者名簿は付録 2 参照）。

○我が国における火山の発生メカニズム及びその地域性

- ・整理結果が現在の科学的知見に照らして、妥当な内容であるか
- ・整理結果を明確に否定する学説や科学的知見があるか
- ・例外的な事象として報告されているものはないか
- ・整理結果に付け加えておくべき留意点等はないか

○将来的な火山の発生に関する既往知見及び研究の動向

- ・どのような研究が行われているのか
- ・留意すべき点として、どのようなことが考えられるか

#### 3.2 我が国における火山の発生メカニズム等について

意見聴取の結果として、原子力規制庁原子力規制部研究炉等審査部門は「我が国における火山の発生メカニズム等に関する科学的・技術的知見の整理」を取りまとめた<sup>12</sup>（全文を付録 3 に示す）。また、この整理の基となる「我が国における火山の発生メカニズム等について（事務局が収集した情報とその理解）」を付録 4 に示す。

「我が国における火山の発生メカニズム等に関する科学的・技術的知見の整理」の主なポイントは以下のとおり<sup>12</sup>。

- ・プレート境界に位置する日本列島において、マグマの発生はプレートの特性や運動と深い関係がある。プレートの特性や運動と深い関係があるマグマの発生の傾向が今後10万年程度の間大きく変化することは想定し難く、これを否定する学説や科学的知見は見当たらない。
- ・マグマの発生条件が成立していないと考えられる地域（例えば、東北日本<sup>(注2)</sup>の前弧域）では、今後10万年程度の期間において火山が発生する蓋然性は極めて低い。
- ・現時点においてマグマの発生条件の成立を否定できない地域について、新たな火山

<sup>(注2)</sup> 関東以北から北海道までを含む範囲

の発生の蓋然性を評価する場合には、マントルウェッジの運動や沈み込む海洋プレートの特性等を加味した評価モデル等の構築によって評価することが考えられるが、研究段階であり、現時点においては確立された評価方法は見当たらない。

### 3.3 原子力規制委員会での議論について

原子力規制庁は、令和4年度第10回原子力規制委員会において、火山の発生メカニズム等に関する意見聴取会合の結果を報告している<sup>12</sup>。その際、原子力規制委員会委員より火山の発生メカニズム等の整理に関してマグマの発生条件の成立を否定できない地域について以下のような確認があった<sup>21</sup>。

今の時点においてマグマの発生条件の成立を否定できない地域は、火山フロントよりも西側であり、「西側の地域というのは、かなり火山フロントから離れた大陸側へかなり火山が広がっており、この分布が10万年間変わらないかと言われると、そのところの評価が非常に難しい。ただ、特に九州に関しては東北日本と割とよく似た状況にありますので、それなりに三つの結論が適用できるとは思いますが、特に火山が非常に少ないような地域についてはなかなか難しい。」との発言が原子力規制委員会委員よりあった。

著者らの考えとして、東北日本及び九州とこれら以外の地域では、マグマの発生条件の成立を評価する困難さの程度が異なることを示しているものとする。

## 4. 考慮事項とその考え方

### 4.1 考慮事項の決定に当たって

原子力規制庁は、考慮事項の考え方を令和4年度第12回原子力規制委員会で示した<sup>13</sup>。このときの議論<sup>22</sup>を踏まえ、令和4年度第15回原子力規制委員会において、原子力規制庁は考慮事項案を提示している<sup>14</sup>。考慮事項案は、原子力規制委員会により、了承され、科学的・技術的意見の募集の実施が了承された。また、考慮事項として概要調査地区の選定を行う前の時点で示す内容として十分なものであるかについて、概要調査地区等の選定を実施する NUMO 及びそれを監督する経済産業省から意見を伺うことを目的に公開の場で意見交換の実施をすることが了承された。

なお、令和4年度第15回原子力規制委員会では、原子力規制委員会委員より、以下の点について意見及び確認があった<sup>23</sup>。

- ・ 「『考慮事項』は、概要調査地区等の選定時において、それぞれの時点で得られている情報に基づき、適切に考慮されるべきである」とされていることから、「1回考えたら終わりではなくて、調査が進めば、新たな情報が得られてくるでしょうから、それをきちんとアップデートするよ」という非常に重要なポイントだと思う<sup>23</sup>との発言が原子力規制委員会委員よりあった。
- ・ 基本方針における「概要調査地区の選定時に安全確保上少なくとも考慮されるべき事項を順次示すことが適当である」という文章の前段に記載されている「将来の安全規制の具体的な審査等に予断を与えないとの大前提の下」の意図する内容について原子力規制委員会委員より確認があり、「最終的に原子力規制委員会として最終処分の規制基準を選定するタイミングと考慮すべき事項を決めるタイミングというのは、恐らく時点のずれがあるので、その間に新しい知見なり何なりが出てきた場合には、当然基準にはそれを反映することにはなると思いますので、言ってみると、考慮すべき事項で示したものに規制基準が絶対に拘束をされなければいけないというわけではないですということを念のため書いてある」と理解している旨、原子力規制庁より回答している。
- ・ 経済産業省及びNUMOとの意見交換の実施の意図について原子力規制委員会委員より確認があり、「概要調査地区等の選定というプロセスの担い手である経産省（経済産業省）とNUMOから、要するにこれで必要十分と思うのか、あるいはもっと考慮すべき事項を書いてくれというのか、その辺りの意見を聞いておく」ということが重要であるとして、原子力規制庁より回答している。

#### 4.1.1 経済産業省及びNUMOとの意見交換

原子力規制委員会は、考慮事項の決定に当たって、考慮事項として現時点で示す内容として十分な内容なものであるかについて、概要調査地区等の選定を行う NUMO とそれを監督する経済産業省から意見を伺うことを目的に公開の場で意見交換を実施した<sup>15</sup>。

経済産業省からは、「考慮事項が非常に有意義なものである」、「安全性について検討・勉強を進めていく」及び「安全な最終処分事業の実現に向けて規制当局へ情報提供していく」との意見があった<sup>24</sup>。

NUMO からは、「概要調査の在り方を検討する作業においては、法定要件に加え科学的特性マップ<sup>25</sup>の作成に使用した要件も考慮することに加え、原子力規制委員会が示した考慮事項も考慮に入れて作業を進めていく」との意見があった<sup>24</sup>。

意見交換の詳細な内容は、令和4年度第19回原子力規制委員会議事録を参照のこと。

#### 4.1.2 科学的・技術的意見の募集

考慮事項案に対して、令和4年6月9日から同年7月8日までの30日間、電子政府の総合窓口（e-Gov）において科学的・技術的意見の募集が行われ<sup>14</sup>、27件の意見が提出されている<sup>16</sup>。

考慮事項案に対する意見とそれに対する考え方については原子力規制委員会資料<sup>16</sup>又はe-Gov<sup>26</sup>を参照のこと。

#### 4.2 考慮事項

原子力規制委員会は、経済産業省及びNUMOとの意見交換並びに科学的・技術的意見の募集の結果も踏まえ、考慮事項を令和4年8月24日に決定した<sup>16</sup>。考慮事項の全文を付録5に掲載するとともに、考慮事項と中深度処分の規制基準との比較表を付録6に掲載する。

#### 4.3 考慮事項の考え方及び科学的・技術的意見に対する回答

原子力規制庁は、2.2で示した検討の方向性を踏まえ、考慮事項の検討対象とした事象（断層等、火山現象、侵食及び鉱物資源等の掘採）、その他の事項について、考え方を令和4年度第12回原子力規制委員会で報告している<sup>13</sup>。本文書における考慮事項の整理に当たっては、4.2の原子力規制委員会で決定された各事象の考慮事項をハッチングした箱書きで示し、その後に令和4年度第12回原子力規制委員会で示した考慮事項の考え方、4.1.2に記載の考慮事項案についての科学的・技術的意見に対する回答、原子力規制委員会での議論、著者らの考え等を示す形で整理し次のようにまとめた。

### 4.3.1 前文

原子力規制委員会は、特定放射性廃棄物の最終処分に関する基本方針（平成 27 年 5 月 22 日閣議決定）を受け、「概要調査地区等<sup>※1</sup>の選定時に安全確保上少なくとも考慮されるべき事項」（以下「考慮事項」という。）について、令和 4 年 1 月から 7 回にわたり審議を重ねてきた。審議に当たっては、我が国における火山の発生メカニズム等についての最新の科学的知見を確認する観点から、火山の専門家からの意見聴取を実施した。

原子力規制委員会は、審議の結果、最終処分施設建設地の選定時に、最終処分施設の設計による対応が困難であり、最終処分施設の設置を避けることにより対応する必要がある事象を対象に、以下の 1. から 4. を「考慮事項」とすることを決定した。

「考慮事項」は、概要調査地区等の選定時において、それぞれの時点で得られている情報に基づき、適切に考慮されるべきである。

また、各段階の調査において行われるボーリング等の調査は、断層の有無や地下水の流況等、重要な地質情報を収集するための行為である一方、天然バリアに対する擾乱を伴う行為であり、放射性物質の移動の促進につながる場の形成や地下水の流動特性の変化など、地質環境に対する影響が想定される。このため、ボーリング等の調査を実施する際には、この両方の側面を考慮する必要がある。さらに、最終処分施設建設地に関し、各調査段階において行われるボーリング等の調査によって得られた情報は、長期間にわたる埋設事業の期間中、保存しておく必要がある。

※1 概要調査地区、精密調査地区及び最終処分施設建設地のことをいう。

#### (1) 前文第 3 パラグラフ

令和 3 年度第 60 回原子力規制委員会<sup>9</sup>の考慮事項の検討方針の段階では、「現時点において提示する考慮事項としては、概要調査地区の選定の際に」として、「概要調査地区の選定」を対象としていた。一方、令和 4 年度第 12 回原子力規制委員会では、考慮事項の考え方に関し、「概要調査地区等の選定時に得られる情報は限られる可能性があるため、それぞれの時点の調査で得られる情報に基づき安全確保上の考慮を行うことが適当である。」としている<sup>13</sup>。

原子力規制委員会は、このような議論を経て、「最終処分施設建設地の選定時に、最終処分施設の設計による対応が困難であり、最終処分施設の設置を避けることにより対応する必要がある事象を対象とし、また、概要調査地区等の選定時において、それぞれの時点で得られている情報に基づき、適切に考慮されるべきであるもの」とした<sup>16</sup>。それぞれの時点とは、最終処分法に基づく最終処分施設建設地の選定のための文献調査、概要調査、精密調査という段階的な調査の時点を指す<sup>8</sup>。

#### (2) 前文第 4 パラグラフ

令和 4 年度第 12 回原子力規制委員会では、「調査段階において行われるボーリング等の



調査については、埋設を実施するに当たり当然の要求であり、考慮事項ではなく、調査を進めるに当たっての注意事項である」との意見が原子力規制委員会委員からあった<sup>22</sup>。

#### 4.3.2 断層等に係る考慮事項の考え方

##### 1. 断層等

次に掲げる断層等を避けること。

- ① 後期更新世以降（約 12～13 万年前以降）の活動が否定できない断層等のうち震源として考慮する活断層
- ② 上記①の活断層の活動に伴い損傷を受けた領域
- ③ 後期更新世以降（約 12～13 万年前以降）の活動が否定できない断層等のうち地震活動に伴って永久変位が生じる断層及び変位を及ぼす地すべり面
- ④ 上記①及び③の断層等以外のものであって規模が大きい断層

ここで、後期更新世以降（約 12～13 万年前以降）の活動が否定できない断層等の認定に当たって、後期更新世（約 12～13 万年前）の地形面又は地層が欠如する等、後期更新世以降の活動性が明確に判断できない場合には、中期更新世以降（約 40 万年前以降）まで遡って地形、地質・地質構造及び応力場等を総合的に検討した上で活動性を評価すること。なお、活動性の評価に当たって、設置面<sup>※2</sup>での確認が困難な場合には、当該断層の延長部で確認される断層等の性状等により、安全側に判断すること。

※2 本考慮事項において、「設置面」とは人工バリアを設置しようとする場所を指す。

断層等に係る考慮事項の考え方は、次のとおり<sup>13</sup>。

- ・ 中深度処分の規制基準では、人工バリアの損傷を防止する観点から、実用発電用原子炉の基準（実用発電用原子炉及びその附属施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則の解釈（原規技発第1306193号）<sup>27</sup>）等を参考に、活断層及びその活動に伴い損傷を受けた領域に加え、地震活動に伴い永久変位が生じる断層及び変位を及ぼす地すべり面を避けることを要求している。また、地下水流動経路を通じた放射性物質の移動の促進等を防止する観点から、活動性にかかわらず規模の大きい断層を避けることを要求している。
- ・ 地層処分の安全確保においても、人工バリアの損傷を防止するとともに、地下水流動経路を通じた放射性物質の移動の促進等を防止するとの観点は同様と考えられる。このため、中深度処分の断層等に係る要求内容は考慮されるべきと考えられる。

断層等に係る考慮事項の内容は、上記の考え方から中深度処分の規制基準と同様の記載とされた。考慮事項について、科学的・技術的意見に対する回答等から以下にまとめた。

- (1) 後期更新世以降（約 12～13 万年前以降）の活動が否定できない断層等のうち震源として考慮する活断層

断層等①で示す活断層は、岩盤等の変位に伴う人工バリアの損傷防止の観点から、「断層の直撃による処分施設や廃棄体の破壊」を考慮したものであり、「震源として考

慮する」は、地震によってもたらされる加重や震動を懸念しているものではない。「震源として考慮する活断層」とは、地震活動に伴って永久変位が生じる断層等とは区別し、その断層自身が動くことにより変位を生じる断層を指している<sup>16</sup>。

ここで、「後期更新世（約12～13万年前）」という記載は、約12～13万年前の地形面又は地層によって活動性を判断するという意図で記載しています」と科学的・技術的意見に対して回答されている<sup>16</sup>。

## (2) 上記①の活断層の活動に伴い損傷を受けた領域

「活断層の活動に伴い損傷を受けた領域」とは、活断層に沿って岩盤が損傷を受けている領域のことであり、震源として考慮する活断層と同様に避けるべきものである<sup>16</sup>。

また、「活断層の活動に伴い損傷を受けた領域」については、第二種廃棄物埋設の廃棄物埋設地に関する審査ガイド（原規規発第2109292号）において、断層の長さのおおむね100分の1の領域とすることが記載されており<sup>28</sup>、これを参考にすることができることが示されている<sup>16</sup>。

## (3) 後期更新世以降（約12～13万年前以降）の活動が否定できない断層等のうち地震活動に伴って永久変位が生じる断層及び変位を及ぼす地すべり面

他の断層の地震活動に伴って永久変位が生じる断層及び変位を及ぼす地すべり面については、断層等③において考慮することになる<sup>16</sup>。

断層等①～③の設定根拠は、実用発電用原子炉施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則の解釈<sup>27</sup>にある「後期更新世以降（約12～13万年前以降）の活動が否定できない断層等」を避けることによって、中深度処分的人工バリアの漏出防止機能の維持を要求する期間（300～400年程度）において、断層等の活動による人工バリアへの著しい損傷が生じる蓋然性を十分に低減することができると考えられるためである<sup>16</sup>。

また、地表で確認できる活断層とその損傷領域に限定していない。概要調査地区等の選定に当たっては、ボーリング調査等によって地中で得られる情報も活用されることが示されている<sup>16</sup>。

## (4) 上記①及び③の断層等以外のものであって規模が大きい断層

「規模の大きい断層」については、第二種廃棄物埋設の廃棄物埋設地に関する審査ガイドにおいて、「規模が大きい断層」として考慮する必要がないものを、次のいずれかであることが想定されている<sup>28</sup>。

－ 破碎帯の幅が20～30センチメートルを超えない。

－ 累積の変位量が、おおむね廃棄物埋設地の上端から下端までの長さを超えない。

#### (5) その他

中深度処分の規制基準では、「廃棄物埋設地の建設・施工時において断層等が発見された場合には、当該断層等を避けて人工バリアを設置すること」とされている<sup>16</sup>。地層処分に関する規制基準の検討においては、これら中深度処分の規制基準を参考にできることが示されている<sup>16</sup>。

新しい火山の発生可能性を検討しているが新たな断層の発生可能性を検討していない理由について、著者らの考えとして、以下の原子力規制委員会委員の発言を踏まえたものと考えている。

令和4年度第12回原子力規制委員会において、「断層が動くとしても何らか過去に動いた可能性がある断層が認められる場所で動くのがこれまでの知見であり、応力場が大きく変化しない限り新しい断層が発生する可能性は極めて低いと考えている」という意見が原子力規制委員会委員からあった<sup>22</sup>。

#### 4.3.3 火山現象に係る考慮事項の考え方

##### 2. 火山現象

次に掲げる場所を避けること。

- ① マグマの貫入による人工バリアの破壊が生ずるような第四紀（現在から約 258 万年前まで）における火山活動に係る火道、岩脈等の履歴が存在する場所
- ② 第四紀に活動した火山の活動中心からおおむね 15 キロメートル以内の場所
- ③ 第四紀に活動した火山が存在しない場所であっても、新たな火山が生じる可能性のある場所。ここで、プレートの特性や運動と深い関係があるマグマの発生の傾向は今後 10 万年程度の間大きく変化することは想定し難いことを考慮した上で、新たな火山が生じる可能性について検討すること。

火山現象に係る考慮事項の考え方は、次のとおり<sup>13</sup>。

- ・ 中深度処分の規制基準では、火道、岩脈等の履歴が存在する場所及び火山の活動中心からおおむね15km以内を避けることを要求している。この要求は、第四紀における火山の活動履歴がない場所又は活動履歴がある火山から一定距離離れた場所であれば、基本的には、噴火やマグマの貫入による廃棄物埋設地の破壊が生じる蓋然性を十分に低減することができると考えられることによる。
- ・ 地層処分の安全確保においても、中深度処分と同様に、噴火やマグマの貫入による廃棄物埋設地の破壊が生じる蓋然性を十分に低減することが必要と考えられる。また、HLW中の長半減期核種の放射能濃度が中深度処分対象物より数桁高いことを考慮すると、中深度処分の規制基準に加え、新たな火山の発生の可能性についても考慮されるべきと考える。この場合、プレートの特性や運動と深い関係があるマグマの発生の傾向は、今後10万年程度の間大きく変化することは想定し難いことを考慮すること。

火山現象に係る考慮事項の内容は、火山の発生メカニズム等に関する意見聴取会合で取りまとめた考え方を踏まえ、中深度処分の規制基準よりも更に具体的な内容とされている。考慮事項について、科学的・技術的意見に対する回答等から以下にまとめた。

##### (1) 第四紀に活動した火山の活動中心からおおむね 15 キロメートル以内の場所

「第四紀に活動した火山の活動中心からおおむね15キロメートル以内」は、一部の火山を除きマグマが地表に噴出した火口の位置は、その火山を代表する位置を中心として概ね半径15kmの円の範囲に分布すること<sup>29</sup>、我が国で側火山・側火口の数が最大クラスとされている富士山については山頂部から山腹にかけて半径約13kmの範囲に70以上の側火山・側火口があること<sup>16</sup>、我が国の最大クラスのカルデラである屈斜路カルデラの長直径は約26kmであることを参考にしたものである<sup>16</sup>。

日本列島が位置するような沈み込み帯においては、マグマの発生がプレートの特性や運動と深く関係しており、また日本列島周辺のプレート運動については300万年前程度か

ら現在までほぼ一定と考えられる<sup>12</sup>。火山の発生については、令和4年度第10回原子力規制委員会で整理されたメカニズム<sup>12</sup>に基づき、マグマの発生条件が成立することにより、地下でマグマが発生し、そのマグマが地表に向かって上昇し、火山の噴火に至るものと考えられる<sup>12</sup>。そのため、火山現象②の「第四紀に活動した火山」としている理由は、第四紀に活動した火山が位置する場所について、現在においてもマグマの発生条件が成立し、マグマが地表へ上昇して噴火に至る可能性が否定できないためである<sup>16</sup>。また、第四紀に活動した火山については、その活動時期を区別せずに避けることが示されている<sup>16</sup>。

(2) 第四紀に活動した火山が存在しない場所であっても、新たな火山が生じる可能性のある場所

「新たな火山が生じる可能性のある場所」については、科学的特性マップ<sup>25</sup>において、「現在火山のない場所に、将来、新たな火山が発生する可能性も考慮する必要がある。そのため、第四紀火山が存在しない地域にあっても、現地調査の結果に基づいて評価した結果、将来新たな火山・火成活動が生じる可能性の高い地域は回避すべきである。そのため、現在、上部マントル内にマグマが発生・上昇する温度・圧力条件が存在しない地域においても、将来、その条件が発生する可能性があるか否かについて、マントル物質の対流モデル等を加えて新たな評価モデルを構築することが望ましい。」と記載されている。

火山の発生メカニズム等に関する意見聴取結果として、**3. 我が国における火山の発生メカニズムとその地域性**で示した、「我が国における火山の発生メカニズム等に関する科学的・技術的知見の整理<sup>12</sup>」の主なポイントでは、「現時点においてマグマの発生条件の成立を否定できない地域について、新たな火山の発生の蓋然性を評価する場合には、マントルウェッジの運度や沈み込む海洋プレートの特性等を加味した評価モデル等の構築によって評価することが考えられるが、研究段階であり、現時点においては確立された評価方法は見当たらない。」と整理されている。

#### 4.3.4 侵食に係る考慮事項の考え方

##### 3. 侵食

中深度処分<sup>※3</sup>より更に深い深度を確保すること。この際、隆起・沈降及び気候変動による大陸氷床量の増減に起因する海水準変動を考慮した侵食による深度の減少を考慮すること。

※3 地表から深さ 70メートル以上の地下に設置された廃棄物埋設地において放射性廃棄物（廃炉等に伴い発生する比較的放射能レベルの高いもの）を埋設の方法により最終的に処分すること。核燃料物質又は核燃料物質によつて汚染された物の第二種廃棄物埋設の事業に関する規則（昭和63年総理府令第1号）第1条の2第2項第3号に規定されているものをいう。

侵食に係る考慮事項の考え方は、次のとおり<sup>13</sup>。

- ・ 中深度処分の規制基準では、一般的なトンネル掘削の深度から、隆起・沈降及び侵食を考慮して、10万年後においても70m以上の深度を確保することを要求している。
- ・ 地層処分の安全確保においても、隆起・侵食を考慮した上で一定の深度は維持するという基本的な考え方は中深度処分と同様と考えられる。他方で、HLW中の長半減期核種の放射能濃度が中深度処分対象物より数桁高く、放射能濃度の減衰がより緩やかであることを踏まえ、中深度処分より更に深い深度を確保することが適切と考えられる。

上記の考え方における、隆起・侵食を考慮した上で設定される埋設深度については、以下のような原子力規制委員会での議論を踏まえ、放射能濃度の減衰による考慮期間が中深度処分よりも長いことだけでなく、地表からの一般的な地下利用のない場所に設置するという中深度処分と共通的な事項があることから、「中深度処分より更に深い深度を確保すること」となったと著者らは考える。

- ・ 考慮期間との兼ね合いで決まる部分が大きい<sup>30</sup>。
- ・ 中深度処分と比べて、隆起・侵食によって時間的に深度が浅くなることを考慮しても地表からの利用がない深い場所に埋設することの共通的な認識が処分関係者にあることが重要である<sup>23</sup>。

なお、比較的短期間で隆起が見られた例として、石川県能登地方の群発地震による隆起があり、石川県能登地方の一連の地震活動では数cm程度の隆起が観測されている<sup>31</sup>。また、群発地震の著しい例として知られる松代群発地震（長野県、最大地震はM5.4）では、最高90cmに及ぶ広範囲の土地隆起が検出された<sup>32</sup>と報告されている。このような群発地震による隆起は、断層で生じるような急激な変位ではなく、より緩やかな変形であることから、廃棄物埋設地への影響は小さいもの<sup>16</sup>と考えられる。このような地殻変動については、今後、新たな知見が得られた場合には、必要に応じて検討を行うことが必要であるとされている<sup>16</sup>。

#### 4.3.5 鉍物資源等の掘採に係る考慮事項の考え方

##### 4. 鉍物資源等の掘採

資源利用のための掘削が行われる可能性がある十分な量及び品位の鉍物資源<sup>※4</sup>の鉍床の存在を示す記録が存在しないこと並びに地温勾配が著しく大きくないこと。

※4 鉍業法（昭和25年法律第289号）第3条第1項に規定されているものをいう。

鉍物資源等の掘採に係る考慮事項の考え方は、次のとおり<sup>13</sup>。

- ・ 中深度処分の規制基準では、十分な量の鉍物資源の記録がないこと及び地温勾配が大きくない場所であることを要求している。この基準は、人が廃棄物埋設地を掘削することを誘発する可能性を低減するため、有用な天然資源が有意に存在し、資源採取のための事業が現在行われている又は資源の賦存状況に鑑み今後行われる見込みのある場所を避けた地点を選定することを要求したものである。
- ・ 人為事象としての鉍物資源等の掘採は、中深度処分と地層処分とで差異はないと考えられることから、地層処分の安全確保における鉍物資源等の掘採に関する考慮事項は中深度処分の規制基準と同様とすることが適当と考えられる。

鉍物資源等の掘採に係る考慮事項の内容は、上記の考え方から中深度処分の規制基準と同様の記載とされた。考慮事項について、科学的・技術的意見に対する回答等から以下にまとめた。

鉍物資源等の掘採に係る考慮事項の「十分な量」や「品位」の基準は時代により利用価値の変化及び技術の進歩によって変わるものであるが、「将来の社会環境を正確に予想することは困難であるため、現在の社会経済環境が将来も続くもの」<sup>16</sup>と考え、考慮事項が設定されている。将来の採掘については、原子炉等規制法に基づき、第一種廃棄物埋設の廃棄物埋設施設の敷地及びその周辺の区域並びにこれらの地下について、原子力規制委員会が一定の範囲を定めた区域を指定し（指定廃棄物埋設区域という）、当該区域を掘削することが禁止される<sup>16</sup>。

「地温勾配が著しく大きくないこと」について、中深度処分の規制基準では10°C/100mを想定しており、規制上の課題において共通する点が多い地層処分の具体的な基準を検討する際には、参考にすることができる<sup>16</sup>。



#### 4.3.6 考慮事項の対象とした事象以外の事象

原子力規制庁は、考慮事項について、2. 検討の範囲と方向性に示した理由により、断層等、火山現象、侵食及び鉱物資源等の掘採の事象を選定している。一方、これら以外にも微生物、地下水、埋設した放射性廃棄物の回収、科学的特性マップの選定事象であるが考慮事項に含まれていない事象等を考慮事項とするべきとの意見が科学的・技術的意見募集で寄せられている<sup>16</sup>。これらについては、2.1のとおり、基本的な考え方として、考慮事項の選定時に対象とする事象は、「廃棄物埋設地に埋設された高レベル放射性廃棄物等を起因として公衆に著しい被ばくを与える恐れがある事象のうち、廃棄物埋設地の設計（構造及び設備）による対応が困難であり、廃棄物埋設地の設置を避けることにより対応する必要があるもの」とされていることから、対象とする事象とされていない。

以下に、考慮事項の対象とした事象以外の事象に対する考え方について科学的・技術的意見募集の回答<sup>16</sup>を整理してそれぞれ示す。

##### (1) ミサイル攻撃等の武力攻撃

「外国からの武力攻撃については、原子力の規制によって対処すべき性質のものではないと考えます。」と回答された。

##### (2) 微生物

「廃棄物埋設施設の安全性に対する影響について国内外において研究が進められています。地下水による人工バリアへの影響は、地層処分の規制上の課題において共通する点が多いと考えられる中深度処分の規制基準を参考にすることができ、微生物が廃棄物埋設地の安全性に極めて重大な影響を及ぼすという知見は得られていないとの見解から、今後の研究の進捗を注視していく。」と回答された。

##### (3) 地下水

「廃棄物埋設施設の安全性に影響を及ぼす自然事象の一つである。」「地下水による人工バリアへの影響は、地層処分の規制上の課題において共通する点が多いと考えられる中深度処分の規制基準を参考にすることができ、人工バリアの設計等により対応することが可能である。」と回答された。

参考：二種埋許可基準規則

第十二条 中深度処分に係る廃棄物埋設地は、次の各号に掲げる要件を満たすものでなければならない。

四 人工バリアを設置する方法により、埋設する放射性廃棄物の受入れの開始後において廃棄物埋設地の外への放射性物質の漏出を防止する機能を有するものであること。

二種埋許可基準解釈

第12条（中深度処分に係る廃棄物埋設地）

5 第1項第4号に規定する「廃棄物埋設地の外への放射性物質の漏出を防止する」とは、埋設する放射性廃棄物の受入れの開始から廃止措置の終了までの間、

地下水の浸入を防止する構造及び放射性物質の漏出を防止する構造が相まって、廃棄物埋設地から放射性物質が漏えいしない状況（工学的に有意な漏えいがない状況）を達成することをいう。

#### （４）地盤

「廃棄物埋設施設の安全性に影響を及ぼす特性の一つである。」「地層処分の岩盤特性に関する規制基準を検討する際には、地層処分の規制上の課題において共通する点が多いと考えられる中深度処分の規制基準を参考にすることができます。」と回答された。

参考：二種埋許可基準規則

第三条 安全機能を有する施設（中深度処分に係る廃棄物埋設地を除く。）は、次条第二項の規定により算定する地震力が作用した場合においても当該安全機能を有する施設を十分に支持することができる地盤に設けなければならない。

二種埋許可基準解釈

第3条（安全機能を有する施設の地盤）

- 1 第1項に規定する「安全機能を有する施設を十分に支持することができる」とは、安全機能を有する施設について、自重及び操業時の荷重等に加え、本規程第4条2の分類に応じて算定する地震力が作用した場合においても、接地圧に対する十分な支持性能を有する設計であることをいう。

#### （５）地震

「地層処分において設置される地下施設は、一般的に地上施設と比較して、地震の影響は小さくなると考えられる<sup>33</sup>(注3)ものの、地下施設の耐震性能の重要性は考慮されるべきであると考えます。なお、中深度処分の規制基準では、安全機能を有する施設に対して、地震力に十分に耐えることができることを要求しています。地層処分の耐震に関する規制基準を検討する際には、中深度処分の規制基準を参考にすることができます。」と回答された。

参考：二種埋許可基準規則

- 第四条 安全機能を有する施設（中深度処分に係る廃棄物埋設地を除く。次項において同じ。）は、地震力に十分に耐えることができるものでなければならない。
- 2 前項の地震力は、地震の発生によって生ずるおそれがある安全機能を有する施設の安全機能の喪失に起因する放射線による公衆への影響の程度に応じて算定しなければならない。
  - 3 中深度処分に係る廃棄物埋設地及び坑道（以下この項において「廃棄物埋設地等」という。）は、埋設する放射性廃棄物の受入れの開始から閉鎖措置の終了

---

(注3) 国土交通省の大深度地下使用技術指針・解説<sup>33</sup>では、大深度地下施設に対する地震時の影響について、「大深度地下施設は、地震により受ける影響は小さいと考えられるので、原則として地震の影響を考慮する必要はないが、地上部との接続部分や、振動特性が異なる地盤に設置される場合などには検討を行い、必要に応じて対策をとるものとする。」とし、その解説として「一般的に地震動は地下深くなればなるほど小さくなることから、大深度地下は地上と比較して地震動は小さいと考えられる。」としている。

までの間に当該廃棄物埋設地等に影響を及ぼすおそれがある地震によって作用する地震力に十分耐えることができるものでなければならない。

## 二種埋許可基準解釈

### 第4条（地震による損傷の防止）

- 1 第1項及び第3項に規定する「地震力に十分に耐える」とは、ある地震力に対して施設全体としておおむね弾性範囲の設計がなされることをいう。この場合、上記の「弾性範囲の設計」とは、施設を弾性体とみなして応力解析を行い、施設各部の応力を許容限界以下にとどめることをいう。また、この場合、上記の「許容限界」とは、必ずしも厳密な弾性限界ではなく、局部的に弾性限界を超える場合を容認しつつも施設全体としておおむね弾性範囲にとどまり得ることをいう。
- 2 第2項に規定する「地震の発生によって生ずるおそれがある安全機能を有する施設の安全機能の喪失に起因する放射線による公衆への影響の程度」とは、地震により発生するおそれがある安全機能を有する施設の安全機能の喪失（地震に伴って発生するおそれがある津波及び周辺斜面の崩壊等による安全機能の喪失を含む。）及びそれに続く放射線による公衆への影響を防止する観点から、各施設の安全機能が喪失した場合の影響の相対的な程度をいう。

### （6）火山性熱水

「廃棄物埋設施設の安全性に影響を及ぼす事象であり、マグマの近傍に生じる熱水であるため、基本的には、付録5の考慮事項2. 火山現象として避けるべき範囲と同等の範囲で避けられるものである。」と回答された。

参考として、科学的特性マップでは、深部流体と合わせて「地下水の特性として、pH4.8未満あるいは炭酸化学種濃度 $0.5\text{mol/dm}^3$  (mol/L) 以上を示す範囲」を基準とし、「エリアで表現することが困難なため、処分地選定調査時に好ましくない範囲を明らかにする必要がある」としている<sup>25</sup>。

### （7）深部流体

「廃棄物埋設施設の安全性に影響を及ぼしうる自然事象の一つであるが、その地域性について、国内において研究が進められていると承知しています。」と回答された。

参考として、科学的特性マップでは、火山性熱水と合わせて「地下水の特性として、pH4.8未満あるいは炭酸化学種濃度 $0.5\text{mol/dm}^3$  (mol/L) 以上を示す範囲」を基準とし、「エリアで表現することが困難なため、処分地選定調査時に好ましくない範囲を明らかにする必要がある」としている<sup>25</sup>。

### （8）地熱活動

「考慮事項では、4. 鉱物資源等の掘採において地温勾配が著しく大きくないこととしています。」と回答された。

参考として、科学的特性マップでは、「処分深度において緩衝材の温度が $100^\circ\text{C}$ 未満を

確保できない地温勾配の範囲」を基準としている<sup>25</sup>。

#### (11) 回収可能性

異常が生じた放射性廃棄物の回収（取り出し）については、「廃棄物埋設施設の安全の確保に必要な措置であると考えており、中深度処分の規制基準にある、埋設する放射性廃棄物の受入れの開始から埋設の終了までの間において、健全性が損なわれ、又はそのおそれがある廃棄物を回収する措置を講ずること、を参考にすることができます。なお、この回収とは、埋戻し後や閉鎖後において廃棄物を取り出すことを想定したものではありません。」と回答された。

参考：二種埋許可基準規則

第十条 中深度処分に係る廃棄物埋設施設は、埋設する放射性廃棄物の受入れの開始から埋設の終了までの間において、健全性が損なわれ、又はそのおそれがある廃棄物を回収する措置を講ずることができるものでなければならない。

二種埋許可基準解釈

第10条（放射性廃棄物の回収）

1 第10条に規定する「埋設の終了」とは、廃棄物埋設地に土砂等を充填することによりその埋め戻しが終了することをいう。

#### (9) 未固結堆積物

「未固結堆積物」に係る要件については、地下岩盤の崩落によって作業安全が損なわれることを防止するための要件と理解しています。」と回答された。

参考として、科学的特性マップでは、「深度300m以深まで更新世中期以降（約78万年前以降）の地層が分布する範囲」を基準としており、その背景には「未固結堆積物が地下深部まで存在する場合は、坑道掘削時に坑道の先端が自立せずに崩落する可能性が高く作業従事者の安全が著しく損なわれる。」としている<sup>25</sup>。

#### (10) 火砕流等

「廃棄物埋設施設の安全性、特に地上施設の安全性に影響を及ぼす自然事象の一つであると理解しています。なお、中深度処分の規制基準では、施設に大きな影響を及ぼすおそれがある自然事象の一つとして、廃棄物埋設施設の敷地及びその周辺の自然環境に応じて想定するものとして扱っていますので、これを参考にすることができます。」と回答された。

参考として、科学的特性マップでは、「完新世（約1万年前以降）の火砕流堆積物・火山岩・火山岩屑の分布範囲」を基準とし、その背景には「操業時に火砕物密度流等による影響が発生することで、施設の安全性が損なわれる恐れがある。」「火砕物密度流等は地表における現象であり、地下施設に著しい影響を及ぼすことは考えにくい。」としている<sup>25</sup>。

参考：二種埋許可基準規則

第六条 安全機能を有する施設（中深度処分に係る廃棄物埋設地を除く。）は、想

定される自然現象（地震及び津波を除く。）であってその供用中に当該安全機能を有する施設に大きな影響を及ぼすおそれがあるものに対して安全機能を損なわないものでなければならない。

## 二種埋許可基準解釈

### 第6条（外部からの衝撃による損傷の防止）

- 1 第1項に規定する「想定される自然現象」とは、廃棄物埋設施設の敷地及びその周辺の自然環境を基に、最新の科学的・技術的知見に基づき、洪水、地すべり、火山の影響等から適用されるものをいう。なお、必要のある場合には、異種の自然現象の重畳を考慮すること。

### （12）モニタリング

「廃棄物埋設施設の安全の確保に必要な施設又は設備であり、地層処分の規制上の課題において共通する点が多いと考えられる中深度処分の規制基準にある監視測定設備の規定を参考にすることができる。」と回答された。

### 参考：二種埋許可基準規則

第十五条 事業所には、次に掲げる事項を監視し、及び測定し、並びに必要な情報（第二号に掲げる事項に係るものに限る。）を適切な場所に表示できる設備を設けなければならない。

- 一 中深度処分を行う場合にあつては廃棄物埋設地から漏えいする放射性物質の濃度又は廃棄物埋設地からの放射性物質の漏えいの徴候を示す物質、ピット処分又はトレンチ処分を行う場合にあつては廃棄物埋設地から漏えいする放射性物質の濃度又は線量
- 二 事業所及びその境界付近における放射性物質の濃度及び線量
- 三 地下水の水位その他の廃棄物埋設地及びその周囲の状況

## 二種埋許可基準解釈

### 第15条（監視測定設備）

- 1 第1号に規定する「廃棄物埋設地から漏えいする放射性物質の濃度又は廃棄物埋設地からの放射性物質の漏えいの徴候を示す物質」及び「廃棄物埋設地から漏えいする放射性物質の濃度又は線量」を監視し、及び測定できる設備は、次に掲げる要件を満たすものをいう。
  - 一 中深度処分に係る廃棄物埋設施設は、埋設する放射性廃棄物の受入れの開始から廃止措置の開始までの間において、廃棄物埋設地から漏えいする放射性物質の濃度又は廃棄物埋設地からの放射性物質の漏えいの徴候を示す物質を監視及び測定できる設計であること。
- 5 第3号に規定する「地下水の水位その他の廃棄物埋設地及びその周囲の状況」を監視し、及び測定できる設備は、事業規則第19条の2に規定する定期的な評価等に必要なデータを取得するため、人工バリア及び天然バリアの機能並び

にこれらに影響を及ぼす地下水の状況等の監視及び測定項目を選定し、埋設する放射性廃棄物の受入れの開始から廃止措置の開始までの間において、監視及び測定できる設計であること。ただし、実際の環境と類似した環境下での原位置試験等の間接的な方法により人工バリア及び天然バリアの機能並びにこれらに影響を及ぼす地下水の状況等のデータを取得できる場合は、当該方法によることができる。

## 5. おわりに

平成27年5月に閣議決定された「特定放射性廃棄物の最終処分に関する基本方針」に基づき、原子力規制委員会は、地層処分において安全確保上少なくとも考慮されるべき事項について検討を行った。本技術ノートでは、これらに関する考え方の背景及びその根拠について、原子力規制委員会、火山の発生メカニズム等に関する意見聴取会合等の公開資料に記載されている内容及び一部に著者らの見解を加えて取りまとめた。

原子力規制委員会において考慮事項が決定された後、経済産業省では、総合資源エネルギー調査会電力・ガス事業分科会原子力小委員会放射性廃棄物ワーキンググループにおいてNUMOが行った文献調査の結果をどのように評価するかという考え方（文献調査段階の評価の考え方）を整理するため、同原子力小委員会地層処分技術ワーキンググループが再開されている<sup>34</sup>。この地層処分技術ワーキンググループでは、文献調査段階の評価の考え方において、原子力規制委員会が示した考慮事項を議論の土台の一部とすることが示されている<sup>35,36</sup>。このように、地層処分に係る政策において一定の進展が見られる。

今後、概要調査が進展した際、又は、新たな科学的・技術的知見が得られた際に、地層処分において安全確保上少なくとも考慮されるべき事項を再度検討する場合には、本技術ノートが役立つことを期待する。

## 謝辞

本技術ノート「地層処分の概要調査地区等の選定時に安全確保上少なくとも考慮されるべき事項の背景及び根拠」の作成において、火山の発生メカニズム等に関する意見聴取会合の外部専門家である大阪公立大学・奥野充教授、東北大学・中村美千彦教授及び産業技術総合研究所・山元孝広博士からいただいたご意見は、著者らが我が国の火山の発生メカニズム等を理解するに当たり非常に有意義であり、深く感謝申し上げます。

また、我が国における火山の発生メカニズム等に関する科学的・技術的知見を本技術ノートで整理するに当たっては、技術基盤グループ地震・津波研究部門の安池由幸専門職及び西来邦章主任技術研究調査官から助言をいただき、多大なご協力があったことをここに記す。

最後に、国立研究開発法人日本原子力研究開発機構の前田敏克・安全研究・防災支援部門企画調整室次長（元原子力規制部研究炉等審査部門安全規制調整官）には、本技術ノートで整理するに当たり、中深度処分の規制基準との共通的な事項や、追加して考慮することが必要な事項の整理等、これまでの経験及び知見について、有意義なコメントをいただいた。ここに深く感謝申し上げます。

## 参考文献一覧

- 1 「特定放射性廃棄物の最終処分に関する法律」、平成 12 年法律第 117 号
- 2 「核原料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律」、昭和 32 年法律第 166 号
- 3 原子力発電環境整備機構、「北海道寿都郡寿都町 文献調査計画書」、令和 2 年 11 月 17 日
- 4 原子力発電環境整備機構、「北海道古宇郡神恵内村 文献調査計画書」、令和 2 年 11 月 17 日
- 5 資源エネルギー庁提供資料、「最終処分地選定のプロセス」、平成 27 年度第 1 回原子力規制委員会、資料 1 参考資料 1、平成 27 年 4 月 1 日
- 6 原子力規制庁、「「特定放射性廃棄物の最終処分に関する法律に基づく特定放射性廃棄物の最終処分に関する基本方針」に対する原子力規制委員会の意見について」、平成 27 年度第 1 回原子力規制委員会資料 1、平成 27 年 4 月 1 日
- 7 「特定放射性廃棄物の最終処分に関する基本方針」、平成 27 年 5 月 22 日閣議決定
- 8 原子力規制委員会、「特定放射性廃棄物の最終処分における概要調査地区等の選定時に安全確保上少なくとも考慮されるべき事項」、原規規発第 2208241 号原子力規制委員会決定、令和 4 年 8 月 24 日
- 9 原子力規制庁、「地層処分において安全確保上少なくとも考慮されるべき事項に関する検討（第 1 回目）－検討方針案－」、令和 3 年度第 60 回原子力規制委員会資料 5、令和 4 年 1 月 19 日
- 10 NUMO、「包括的技術報告：わが国における安全な地層処分の実現－適切なサイトの選定に向けたセーフティケースの構築－本編および付属書」、NUMO-TR-20-03、令和 3 年 2 月
- 11 原子力規制庁、「地層処分において安全確保上少なくとも考慮されるべき事項に関する検討（第 2 回目）－火山の専門家への意見聴取－」、令和 3 年度第 63 回原子力規制委員会資料 4、令和 4 年 2 月 2 日
- 12 原子力規制庁、「地層処分において安全確保上少なくとも考慮されるべき事項に関する検討（第 3 回目）－火山の専門家への意見聴取結果－」、令和 4 年度第 10 回原子力規制委員会資料 2、令和 4 年 5 月 18 日
- 13 原子力規制庁、「地層処分において安全確保上少なくとも考慮されるべき事項に関する検討（第 4 回目）－考慮事項の考え方－」、令和 4 年度第 12 回原子力規制委員会資料 3、令和 4 年 5 月 25 日
- 14 原子力規制庁、「地層処分において安全確保上少なくとも考慮されるべき事項に関する検討（第 5 回目）－考慮事項案－」、令和 4 年度第 15 回原子力規制委員会資料 2、令和 4 年 6 月 8 日
- 15 原子力規制庁、「地層処分において安全確保上少なくとも考慮されるべき事項に関する検討（第 6 回目）－経済産業省及び NUMO との意見交換－」、令和 4 年度第



- 19 回原子力規制委員会資料 1、令和 4 年 6 月 29 日
- 16 原子力規制庁、「地層処分において安全確保上少なくとも考慮されるべき事項に関する検討（第 7 回目）－考慮事項の決定等－」、令和 4 年度第 31 回原子力規制委員会資料 1、令和 4 年 8 月 24 日
- 17 石原義尚、牧野仁史、大井貴夫、石黒勝彦、宮原要、梅木博之、赤坂秀成、「高レベル放射性廃棄物ガラス固化体のインベントリ評価」、JNC TN8400 99-085、核燃料サイクル開発機構、平成 11 年 11 月
- 18 原子力規制委員会、「炉内等廃棄物の埋設に係る規制の考え方について」、原規技発第 1608312 号原子力規制委員会決定、平成 28 年 8 月 31 日
- 19 電気事業連合会、「余裕深度処分対象廃棄物に関する基本データ集（一部改正）」、余裕深度処分（中深度処分）対象廃棄物に関する基本データの訂正に係る電気事業連合会との面談資料、平成 28 年 8 月 23 日
- 20 原子力規制庁 原子力規制部 研究炉等審査部門、「我が国における火山の発生メカニズム等について（事務局が収集した情報とその理解）」、第 1 回火山の発生メカニズム等に関する意見聴取会合資料 1-2、令和 4 年 3 月 3 日
- 21 原子力規制委員会、「令和 4 年度原子力規制委員会第 10 回会議議事録」、令和 4 年度第 10 回原子力規制委員会議事録、令和 4 年 5 月 18 日
- 22 原子力規制委員会、「令和 4 年度原子力規制委員会第 12 回会議議事録」、令和 4 年度第 12 回原子力規制委員会議事録、令和 4 年 5 月 25 日
- 23 原子力規制委員会、「令和 4 年度原子力規制委員会第 15 回会議議事録」、令和 4 年度第 15 回原子力規制委員会議事録、令和 4 年 6 月 8 日
- 24 原子力規制委員会、「令和 4 年度原子力規制委員会第 19 回会議議事録」、令和 4 年度第 19 回原子力規制委員会議事録、令和 4 年 6 月 29 日
- 25 経済産業省、「「科学特性マップ」の説明資料」、平成 29 年
- 26 原子力規制委員会、「特定放射性廃棄物の最終処分における概要調査地区等の選定時に安全確保上少なくとも考慮されるべき事項案に対する科学的・技術的意見の募集結果について」、令和 4 年 8 月 24 日  
<https://public-comment.e-gov.go.jp/servlet/PcmFileDownload?seqNo=0000240033>（2023 年 8 月 2 日確認）
- 27 原子力規制委員会、「実用発電用原子炉及びその附属施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則の解釈」、原規技発第 1306193 号原子力規制委員会決定、平成 25 年 6 月 19 日
- 28 原子力規制委員会、「第二種廃棄物埋設の廃棄物埋設地に関する審査ガイド」、令和 3 年 9 月 29 日
- 29 経済産業省、「地層処分に関する地域の科学的な特性の提示に係る要件・基準の検討結果（地層処分技術 WG とりまとめ）」、総合資源エネルギー調査会 電力・ガス事業分科会 原子力小委員会 地層処分技術 WG、平成 29 年 4 月

- 30 原子力規制委員会、「令和3年度原子力規制委員会第60回会議議事録」、令和3年度第60回原子力規制委員会議事録、令和3年1月19日
- 31 地震調査研究推進本部 地震調査委員会、「石川県能登地方の地震活動の評価」、令和4年7月11日
- 32 地学団体研究会、「新版 地学事典」、平凡社、p. 1261、平成8年
- 33 国土交通省 都市局都市政策課 大深度地下利用企画室、「大深度地下使用技術指針・同解説」、平成30年3月
- 34 資源エネルギー庁電力・ガス事業部放射性廃棄物対策課、「今後の文献調査の進め方について」、第37回 総合資源エネルギー調査会 電力・ガス事業分科会 原子力小委員会 放射性廃棄物ワーキンググループ、資料3、令和4年9月6日
- 35 資源エネルギー庁電力・ガス事業部放射性廃棄物対策課、「最終処分政策と地層処分技術WGについて」、第21回 総合資源エネルギー調査会 電力・ガス事業分科会 原子力小委員会 地層処分技術ワーキンググループ、令和4年11月29日
- 36 資源エネルギー庁電力・ガス事業部放射性廃棄物対策課、「最終処分政策と地層処分技術WGについて」、第24回 総合資源エネルギー調査会 電力・ガス事業分科会 原子力小委員会 地層処分技術ワーキンググループ、令和5年4月28日

## 付録1 我が国の地殻変動等に関する参考文献及び関連部分の抜粋<sup>(注1)</sup>

(1) 我が国における地殻変動とプレート運動の関係並びに地殻変動の方向や速度の継続性（永続性）に関するもの

【狩野謙一、村田明広、「構造地質学」p236-237 (1998).<sup>1)</sup>】

- ・プレートテクトニクスは、剛体に近似できるプレート（リソスフェア）が、オイラー軸のまわりで回転運動を起こすことによって生じる。そして、地球のプレートシステムに何らかの変化が起きない限りは、オイラー軸が固定されているために、プレートの進行方向と速度はほぼ一定に保たれる。したがって、プレート境界域での相対運動の方向と速度は、ある期間はほぼ一定に保たれて、定常的な状況が生じる。
- ・プレートシステムの転換は、新たな拡大境界がどこかに形成されたり、大陸と大陸が衝突して収束境界として機能しなくなったのを調整するために起こる。そして、新たな拡大境界や収束境界が別の場所に形成される。このシステムの転換に伴って、ある地域での造構応力場が変化して、異なったステージの地殻変動が起こる。したがって、ある地域での地殻変動の過程を考察することは、地球全体のプレートシステムの変遷過程の解析と密接に関係している。

【木村敏雄「日本列島の地殻変動－新しい見方から－」p12.<sup>2)</sup>】

- ・地質現象・事象には慣性ないしは慣性的な力が働いて、継続性が生まれている場合が多い。地盤が、非常に長い期間、一定の割合で上昇し続けているところでは、その長い期間に比べてずっと短い時間の近い将来での上昇量を推定することができる。過去2000万年以上の間もぐり込みを続けてきた大洋プレートが、近い将来にそのもぐり込みを急に停止することはないであろう。また急にもぐり込みの向きを変えることもないと考えられる。400～500万年もの間、浮力によって上昇し続けてきた花崗岩体が近い将来にその上昇を停止することはないであろう。このような現象には慣性ないしは慣性的な力が働くので、停止させるにはべらぼうに大きなエネルギーを必要とする。地質現象・事象にはこのように慣性ないしは慣性的な力が大きく働いているものが多い。そのため、一方向に一定割合で変化している事象では、過去の継続時間に比べて、非常に小さい時間の将来ほど、変化の仕方がそのままに保たれる確率が大きい。このことは、一般的に言って、過去の継続時間に比べて非常に短い時間の将来ほど、確からしい将来予測が可能であることを意味する。逆に言うと、遠い将来ほど将来予測が確からしさを失うことを意味する。

【梅田浩司、谷川晋一、安江健一「地殻変動の一樣継続性と将来予測－地層処分の安全評価の視点から－、Journal of Geography、122 (3) p385-397 (2013)「VII. 地質学的現象

<sup>(注1)</sup> 令和3年度第60回原子力規制委員会資料5の参考7を著者らにより一部修正。令和3年度第60回原子力規制委員会資料5の記載に特に関係すると思われる部分に下線を引いている。

の将来予測の限界」より<sup>3)</sup>】

- ・地層処分の安全評価では、外的変動要因を考慮した将来のシステムの挙動を記述したシナリオに基づく評価が基本となるが、信憑性をもったシナリオがどの程度の期間(将来)において提示できるかが重要となる。日本列島のネオテクトニクス(現在進行中の変動およびそれと同様な特性の続く最近の時代の変動)の枠組みにおいて多くの地域で地殻変動の方向や速度が一定になったのは数十万年前以降であった。

(2) プレートシステムの転換に要した期間に関するもの

【わが国における高レベル放射性廃棄物地層処分の技術的信頼性—地層処分研究開発第2次取りまとめ—分冊1わが国の地質環境(1999) 第II章2.2.2プレートシステムの転換より<sup>4)</sup>】

- ・日本列島周辺においてもプレートシステムの転換を生じるような背弧海盆の拡大や島弧の衝突などを経験している。たとえば、前・中期中新世には、日本海や千島海盆、四国海盆などが形成され、プレートシステムの大きな転換期となっている。背弧海盆の拡大は西太平洋で多く見られ、沈み込む海洋プレートの年代が古いことに関係するらしいが(Molnar and Atwater, 1978)、その原因についてはいくつかの見解がある。背弧海盆の拡大にともなうプレートシステムの転換によって、広域的な応力場や火山活動の場に変化が生じる可能性があるが、これらの変化の始まりは、プレートシステムの転換に要する期間に依存すると考えられる。日本海の拡大による西南日本弧の回転は百万年程度、東北日本弧では1千万年以上の期間をかけて行われた(Jolivet et al., 1994)。また、千島海盆や四国海盆の拡大も、開始から終了までに1千万年以上の期間を要したと考えられている(たとえば、沖野ほか、1998; Kimura and Tamaki, 1986; Seno and Maruyama, 1984; 湯浅, 1991)。以上のことから、背弧海盆の形成にともなうプレートシステムの転換には、少なくとも百万年以上の期間を要することになる。
- ・沈み込み帯において、潜り込むのが大陸プレートあるいは海洋プレート上で地殻のない火山弧などの場合は、そこが衝突境界になり、逆断層でスラストされて積み重なり、大陸地殻も付加される。日本列島においても千島弧と東北日本弧、西南日本弧と伊豆—小笠原弧において衝突作用が生じている。

たとえば、後期中新世以降、千島海溝への太平洋プレートの斜め沈み込みによって、千島弧の前弧が背弧に対して右横ずれを生じたため、千島弧前弧は、西へ移動した東北日本弧に衝突したと考えられている(たとえば、木村, 1981)。この衝突によって北海道中央部付近に位置していたプレート境界が中期更新世に日本海東縁部に転移したことが指摘されている(中村, 1983; 瀬野, 1986; 木村ほか, 1986)。これらのように島弧どうしの衝突によって、プレート境界が移動する可能性があるが、転移が開始(鮮新世)してから終了(中期更新世以降)するまでの期間を考慮するとプレートシステムの転換には少なくとも百万年以上の期間を要している。

【石渡明、磯崎行雄、「東北アジア 大地のつながり」p56-57(2011)。「一四. 日本海裂開漂

移モデル」より<sup>5(注1)</sup>】

- ・日本海がどういふふうを開いたのか、というモデルが幾つかある。図10aは、フランスのラルマン氏とジョリベ氏が提唱したモデルで、引裂き（プルアパート）モデルという名前がついている。要するに、大陸に対して日本が相対的に南の方へ動いたために、割れ目ができて、その間が開いて日本海ができたというモデルである。この考え方では、日本列島は回転せず、平行移動するだけである。
- ・実際に日本列島の地層の古地磁気を測ってみると、日本海が開いた2,000万～1,500万年前くらいの時期に大きく回転したということがわかってきた。図10bの神戸大学の乙藤洋一郎教授の説では、1,500万年前までの約200万年間に、九州の西方のある点を中心にして、西南日本がぐるりと時計まわりに37度ほど回転したという。西南日本が時計まわりに回転し、東北日本が逆に反時計まわりに回転して、そのため「観音開き」の戸のように両側へ開きながら日本列島が太平洋側へ押し出し、その後ろに日本海が開いたというモデルである。

#### 付録1の参考文献

- 1 狩野謙一、村田明広、「構造地質学」、朝倉書店、pp. 236-237、平成10年
- 2 木村敏雄、「日本列島の地殻変動—新しい見方から—」、愛智出版、p. 12、平成14年
- 3 梅田浩司、谷川晋一、安江健一、「地殻変動の一様継続性と将来予測—地層処分の安全評価の視点から—」、地学雑誌、122巻、3号、pp. 385-397、平成25年
- 4 核燃料サイクル開発機構、「わが国における高レベル放射性廃棄物地層処分の技術的信頼性—地層処分研究開発第2次取りまとめ—分冊1 わが国の地質環境」、JNC TN1400 99-021、平成11年11月
- 5 石渡明、磯崎行雄、「東北アジア 大地のつながり」、東北大学出版会、pp. 56-57、平成23年

---

(注1) 引用した参考文献では漢数字であるが、本文書では算用数字に変更している。

付録2 火山の発生メカニズム等に関する意見聴取会合 参加者名簿

火山の発生メカニズム等に関する意見聴取会合 参加者名簿

原子力規制委員会

石渡 明（座長） 原子力規制委員  
田中 知 原子力規制委員長代理

外部専門家（五十音順）

奥野 充 公立大学法人大阪大阪公立大学大学院理学研究科地球学専攻  
教授  
中村 美千彦 国立大学法人東北大学大学院理学研究科 教授  
山元 孝広 国立研究開発法人産業技術総合研究所地質調査総合センター  
活断層・火山研究部門 招聘研究員

原子力規制庁

市村 知也 原子力規制部長  
志間 正和 原子力規制部 安全規制管理官（研究炉等審査担当）  
大村 哲臣 原子力規制部 国際原子力安全規制制度研究官  
前田 敏克 原子力規制部 研究炉等審査部門 安全規制調整官（第2回  
まで）  
青木 広臣 原子力規制部 研究炉等審査部門 主任技術研究調査官  
鏡 健太 原子力規制部 研究炉等審査部門 技術研究調査官  
木嶋 達也 原子力規制部 研究炉等審査部門 技術研究調査官  
安池 由幸 長官官房技術基盤グループ 地震・津波研究部門 専門職  
西来 邦章 長官官房技術基盤グループ 地震・津波研究部門 主任技術  
研究調査官

## 我が国における火山の発生メカニズム等に関する科学的・技術的知見の整理

令和4年4月28日  
研究炉等審査部門

### 1. 背景

使用済燃料の再処理過程で発生する高レベル放射性廃棄物や一部の低レベル放射性廃棄物の処分に当たっては、特定放射性廃棄物の最終処分に関する法律に基づき、「特定放射性廃棄物の最終処分に関する基本方針」（平成27年5月閣議決定）において、「原子力規制委員会は、概要調査地区等の選定が合理的に進められるよう、その進捗に応じ、将来の安全規制の具体的な審査等に予断を与えないとの大前提の下、概要調査地区等の選定時に安全確保上少なくとも考慮されるべき事項を順次示すことが適当である。」とされている。

この基本方針に基づき、原子力規制委員会は、概要調査地区等の選定時に安全確保上少なくとも考慮されるべき事項（以下「考慮事項」という。）を検討するに当たり、廃棄物埋設地に埋設された放射性廃棄物を起因として公衆に著しい被ばくを与えるおそれがある事象のうち、廃棄物埋設地の設計（構造及び設備）による対応が困難であり、廃棄物埋設地の設置を避けることにより対応する必要があるもののひとつとして、火山現象を挙げた。その際、新たな火山の発生の可能性の考慮も含めて検討が必要であるとした<sup>1</sup>。

このような背景の下、火山現象に関する考慮事項の検討に先立ち、我が国における火山の発生メカニズムの特徴やその地域性等に関する科学的・技術的知見を以下に取りまとめた。

### 2. 我が国における基本的な火山の発生メカニズムと地域性

日本列島は大陸プレートと海洋プレートの境界に位置し、海洋プレートが沈み込む島弧である。日本の火山は日本海溝や日本列島の延びる方向と平行に分布しており、この火山の分布の海溝側の端を繋ぐ線は火山フロントと呼ばれている<sup>ii</sup>。

日本列島が位置するような沈み込み帯では、海洋プレートの沈み込みの反転流としてマンツルの深部から高温の物質が上昇し、高温のくさび形マンツル（マンツルウェッジという）が形成されている<sup>iii</sup>。海洋プレートの沈み込みに伴う温度と圧力の上昇によって含水鉱物は脱水し、その水がマンツルウェッジに供給される<sup>iv</sup>。この加水とマンツル深部からの上昇（マンツルウェッジの対流）に伴う減圧によりマンツルウェッジを構成するカンラン岩の融点が下がり、マンツルウェッジ内の高温部が溶融しメルト（マグマ）を生成する<sup>iv</sup>。このように、沈み込み帯では、基本的に、マンツルウェッジ内の高温部の上昇と水の供給による融点低下という状況が整った場合に、マグマが発生するとされている。

このようなマグマの発生メカニズムが見られる場所の典型的な例として、東北日

本<sup>\*1</sup>を含む太平洋プレートの沈み込み域が挙げられる。東北日本に沈み込んでいる太平洋プレートは古いプレートであり、プレート自体が冷えている<sup>v</sup>ことに加え、当該地域では背弧海盆の拡大時に見られるような高温のアセノスフェア<sup>\*2</sup>の上昇<sup>vi</sup>が生じていないため、上記マグマ発生メカニズムが成立していると考えられる。

また、西南日本<sup>\*3</sup>におけるフィリピン海プレートの沈み込み域においても、マグマの発生メカニズムは基本的には太平洋プレートの沈み込み域と同様であるとされている<sup>vii</sup>。このうち九州地方に沈み込んでいるプレートは古く冷えたプレート<sup>vii</sup>であり、水の放出を起因としてマグマが発生していると考えられている。他方、中国地方に沈み込んでいるプレートはより若く温かいプレートであり、マグマが生成するための深度に至る前にプレートの水分が失われることで、マグマの生成量が少なくなり、火山の数も少なくなると報告されている<sup>vii</sup>。一方、中国地方に沈み込んでいるフィリピン海プレートはプレート自体の温度が高いため<sup>v</sup>、十分な水の供給がない条件であっても、沈み込んだプレート（スラブ）そのものの部分溶融（スラブメルティング）によってマグマが発生することも示唆されている<sup>viii, ix</sup>。

このように、プレート境界に位置する日本列島において、マグマの発生はプレートの特性や運動と深い関係があると考えられる。

また、発生したマグマは、地殻まで上昇し、マグマ溜まりを形成する。このマグマ溜まりから供給されたマグマが地表に到達した場合、火山の噴火を引き起こす。マグマがマグマ溜まりから地表に至るまでには、上部地殻における応力の状態や岩盤特性などが影響すると考えられる<sup>x</sup>。第四紀火山の中心及び個別火山体（側火山等）の分布に基づくと、97.7%の火山で、火山中心から半径 15 km の範囲内に個別火山体が収まっているという報告がある<sup>xi</sup>。一方、15 km の範囲を超えるような地中でのマグマの水平方向の移動が観測された事例（例えば、2000 年の三宅島火山の噴火<sup>xii, xiii, xiv</sup>）も報告されているが、このようなマグマの移動には、上記のような火口の移動も含めて、広域応力場と局所応力場の組合せが影響することが示唆されている<sup>xv, xvi</sup>。

### 3. プレート運動の継続性と今後のマグマの発生の傾向について

背弧海盆の拡大時（例えば、1400 万年前以前の日本海の拡大時）には、高温のアセノスフェアが上昇し、これが前弧域側に流れ込むことにより、太平洋スラブのような冷えたスラブの上面が溶融し、多様な成分のマグマが発生<sup>xvii, xviii</sup>して火山が発生した事例があるとされている。このように、日本海の拡大（背弧海盆の拡大）のようなプレート運動の大きな変化が生じると、プレートの沈み込み域でのマントルウェッジの対流の状態が大きく変化すること等によって、火山の発生の傾向が大きく変化することが考えられる。

一方、プレート運動の大きな変化にはその始まりから終息までに 100 万年～1000 万年以上の期間を要したとされており<sup>xix, xx, xxi</sup>、仮にそのような変化が現在始まったとしても、例えば今後 10 万年程度のうちに現在のプレート運動が大きく変化す

<sup>\*1</sup> ここでは、関東以北から北海道までを含む範囲を指す。

<sup>\*2</sup> 固いリソスフェア（プレート）の下に分布する柔らかく、比較的流動性に富んだ層。

<sup>\*3</sup> ここでは、中国地方と九州地方をまでする範囲を指す。



ることは想定し難い。すなわち、プレートの特性や運動と深い関係があるマグマの発生傾向が今後 10 万年程度の間大きく変化することは想定し難く、これを否定する学説や科学的知見は見当たらない。

#### 4. 新たな火山の発生の蓋然性

2. 及び3. を踏まえると、プレートの沈み込みというメカニズムに基づき、現在マグマの発生条件が成立していないと考えられる地域では、今後 10 万年程度の期間において火山が発生する蓋然性は極めて低いと考えられる。当該地域の例としては、東北日本（関東以北から北海道までを含む範囲）の前弧域が挙げられる。理由は以下のとおり。

- ・太平洋プレートは、古いプレートであり、プレート自体が冷えていることに加え、当該地域では背弧海盆の拡大時に見られるような高温のアセノスフェアの上昇が生じていないため、「高温のマントルウェッジへの水の供給によるマントルの融点低下」がマグマの発生の要因となっている典型的な例であり、スラブの部分溶融によるマグマの発生は想定し難いこと。
- ・プレート運動の大きな変化が生じたとはされていない約 1400 万年前以降においても、通常では火山活動が起こらないと考えられる前弧域で火山が発生したとされる例外的な事例<sup>※4</sup>が報告されている<sup>xxii</sup>が、このような事例は稀であると考えられること。

また、現時点においてマグマの発生条件の成立を否定できない地域について、新たな火山の発生の蓋然性を評価する場合には、マントルウェッジの対流や沈み込む海洋プレートの特性等を加味した評価モデル等の構築によって評価することが考えられるが、研究段階であり、現時点においては確立された評価方法は見当たらない。

- 
- i 令和3年度第60回原子力規制委員会（令和4年1月19日）資料5
  - ii 吉田ら，火山学，共立出版株式会社（2017）.
  - iii McKenzie (1969), *Geophysical Journal of the Royal Astronomical Society*, 18, 1-32.
  - iv 中島(2016), 火山, **61** (1), 23-36
  - v Peacock and Wang (1999), *Science*, **286** (5441), 937-939.
  - vi Hirai et al. (2018), *Geology*, **46** (4), 371-374.
  - vii Tatsumi et al. (2020), *Scientific Reports*, **10**: 15005.
  - viii 西村 (2016), 温泉科学, **66** (2), 124-136.
  - ix 片山ら (2010), 地学雑誌, **119** (2), 205-223.
  - x 高橋 (1994), 地学雑誌, **103** (5), 447-463.

---

※4 カムチャッカにおいては、ウェッジマントルに高温のアセノスフェアが存在し、海山が沈み込むことによって海山由来のスラブ起源流体が発生し、これがマントルと反応することでマグマが発生し、通常では火山活動が起こらないと考えられる前弧域で火山が発生した事例があるとされている。

- 
- xi 経済産業省資源エネルギー庁 (2017), 「科学的特性マップ」の説明資料
- xii 津久井ら (2005), 火山地質図 12 三宅島火山, 産業技術総合研究所地質調査総合センター
- xiii Nishimura et al. (2001), *Geophysical Research Letters*, 28 (19), 3745-3748.
- xiv 酒井ら (2001), *地学雑誌*, 110 (2), 145-155.
- xv 三浦ら (2006), 電力中央研究所報告, N05024
- xvi 土志田ら (2006), 電力中央研究所報告, N05026
- xvii Yamamoto and Hoang (2009), *Lithos*, 112 (3-4), 575-590.
- xviii Ishizuka et al. (2010), *Earth and Planetary Science Letters*, 294, 111-122.
- xix Jolivet et al. (1999), *Journal of Geophysical Research*, 99 (B11), 22, 237-22, 259.
- xx Kimura and Tamaki (1986), *Tectonics*, 5 (3), 289-401.
- xxi Seno and Maruyama (1984), *Tectonophysics*, 102, 53-84.
- xxii Nishizawa et al. (2017), *Scientific Reports*, 7, 11515.

（参考）

第3回火山の発生メカニズム等に関する意見聴取会合（令和4年4月28日）における外部専門家のコメントを受け、同会合資料3-1を修正したもの

# 我が国における火山の発生メカニズム等について （事務局が収集した情報とその理解）

令和4年4月28日

原子力規制庁 研究炉等審査部門

## 1. 本会合の進め方

2

原子力規制委員会は、今後の概要調査地区等の選定時に安全確保上少なくとも考慮されるべき事項（考慮事項）の検討を行い、提示する\*1。これに先立ち、我が国における火山の発生メカニズムの特徴、その地域性、新たな火山の発生に関して、[文献から得た知見に基づく事務局の整理に対し、専門的なご意見を頂きたい。](#)

### 我が国における火山の発生メカニズム及びその地域性

- 現在の科学的知見に照らして、妥当な内容であるか
- 明確に否定する学説や科学的知見があるか
- 例外的な事象として報告されているものはないか
- 整理結果に付け加えておくべき留意点等はないか

### 将来的な火山の発生に関する既往知見及び研究の動向

- どのような研究が行われているのか
- 留意すべき点として、どのようなことが考えられるか

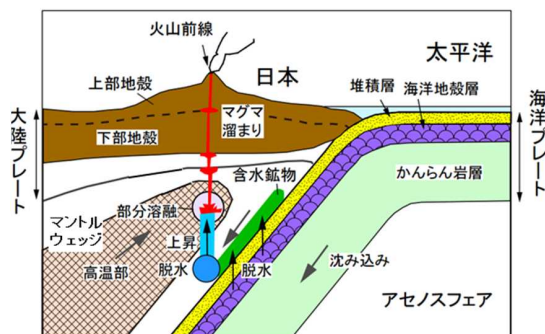
## 2. 事務局が収集した情報

3

### 我が国におけるマグマの発生から火山噴火に至るまでのメカニズム

プレートの沈み込み帯である我が国における基本的なマグマの発生から火山噴火に至るまでのメカニズム\*2

1. 沈み込むスラブ表面とマントル物質との間に粘性カップリングがあることにより、スラブ直上の物質がスラブの沈み込み方向に引きずり込まれ、その隙間を埋めるように高温で低粘性の物質が深部から上昇する\*3(マントル上昇流)。
2. プレートの沈み込みに伴う温度、圧力の上昇により含水鉱物は脱水分解し、高温の楔型マントル(マントルウェッジ)に水を放出する。
3. 放出された水はカンラン岩の融点を下げ、マントルウェッジ内の高温部でメルトが生成される。
4. メルトはマントル上昇流によりモホ面※直下まで運ばれる。
5. モホ面直下に蓄積したメルトは結晶分化を起こしながら地殻内に貫入し、マグマ溜まりを形成する。
6. マグマ溜まりから供給されたマグマが地表に到達し、火山噴火を引き起こす。



プレートの沈み込みとマグマの発生\*4

※モホ面: モホロビッチ不連続面の略称であり、地殻とマントルの境界をいう。

\*2 中島(2016), 火山, 61 (1), 23-36

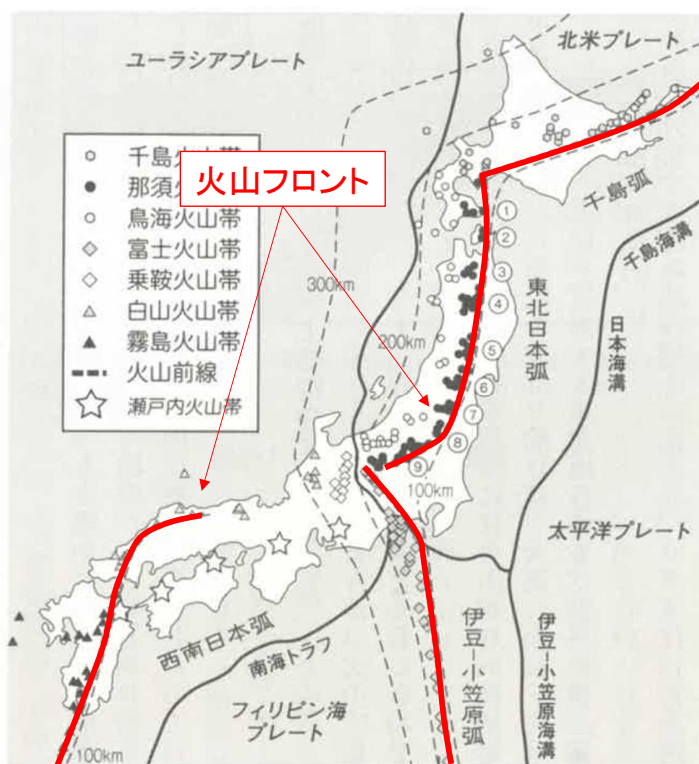
\*3 McKenzie (1969), Geophysical Journal of the Royal Astronomical Society, 18, 1-32.

\*4 佐野ら(2018), 月刊地球, 40 (4), 199-209

## 2. 事務局が収集した情報

### 我が国における火山の分布

4



日本列島における火山フロントの位置

(巽, 2011\*5)に加筆) 46

沈み込み帯に形成された火山は、海溝から一定の距離離れた場所に火山が最も集中し、さらに陸側に向かって火山は徐々に少なくなっていく\*6。  
⇒火山の分布の海溝側の端を結んだラインが「火山フロント※」\*7。

火山フロントより  
海溝側を「前弧域」\*6  
上記の反対側を「背弧域」\*6

※原文では「火山帯のフロント」とされている

\*5 巽(2011): 地球の中心で何が起きているのか 地殻変動のダイナミズムと謎

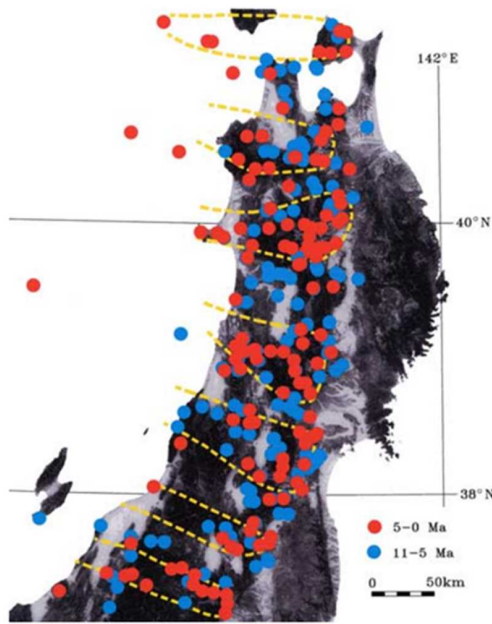
\*6 高橋(2017); GSJ地質ニュース Vol. 6 No. 5

\*7 杉村(1959), 火山, 4 (2), 77-103.

## 2. 事務局が収集した情報

5

### 我が国における火山の地域性－東北地方(1/2)－



東北日本における過去から現在における火山の位置\*8

- 東北地方の火山の分布については、ホットフィンガー\*9という考え方が提唱されている。この考え方に基づけば、最近5 Ma※の火山活動はホットフィンガーの分布(左図の破線)とよく一致するが、それより以前は、ホットフィンガーから外れた地域でも火山活動がみられる。また、見方によっては、フィンガーが入れ替わっているようにも見える\*8。
- 火山位置の変遷をシミュレーションした結果も報告\*8されているが、その範囲はある程度大きな範囲であり、特定の位置での火山噴火を再現できるものではないと考えられる。

※Ma: Mega annumの略で、100万年前を表す。

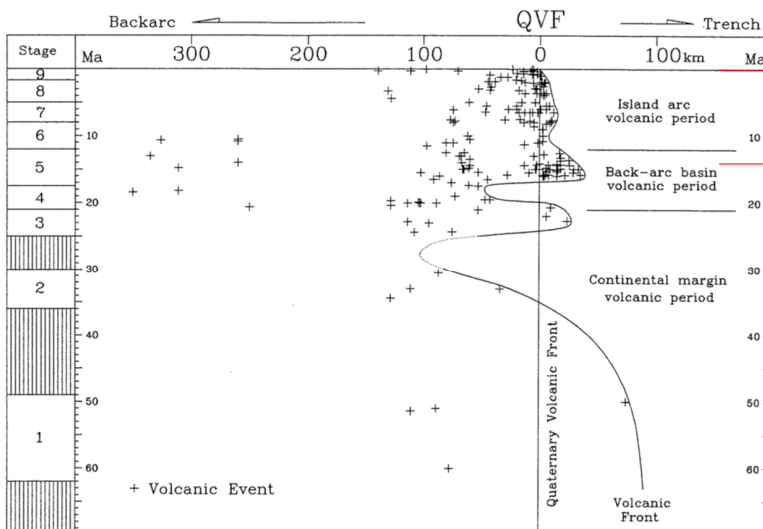
\*8 Honda and Yoshida (2005), *Geochemistry Geophysics Geosystems*, 6 (1), 1-22.

\*9 Tamura et al. (2002), *Earth and Planetary Science Letters*, 197 (1-2), 105-116.

## 2. 事務局が収集した情報

6

### 我が国における火山の地域性－東北地方(2/2)－



火山フロントは西方(背弧域)へ移動

日本列島の移動や高温のアセノスフェアの上昇等による火山フロントの移動\*10

東北地方における火山フロントの位置の変遷\*10

- 日本列島が形成されたとされている時期(約1400万年前)以降において、東北地方の火山フロントは大局的には背弧側(西方)へ移動している。

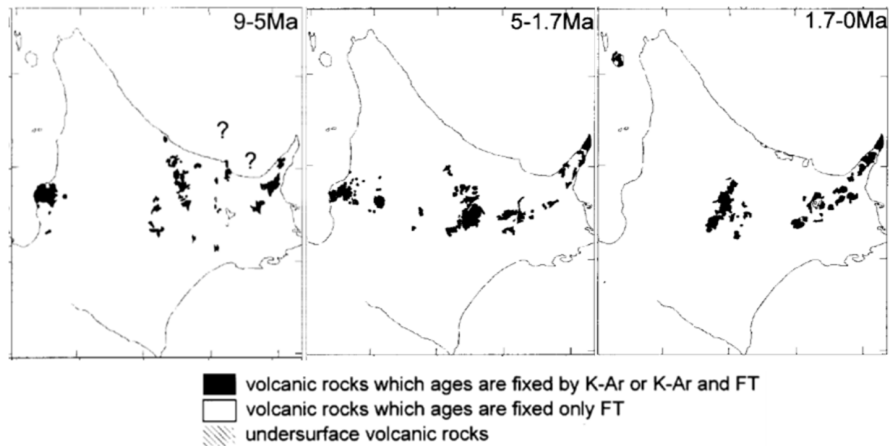
(※本会合第1回目において、吉田ら(1995)以降にも、上記の大局的傾向を裏付ける更なるデータが得られているとの指摘があった(例えば、現在の火山フロントよりも東方に位置する栃木県茂木地域では16.7 Ma, 17.7 Ma, 18.6 Maの放射年代値が報告されている\*11, 12)。

\*10 吉田ら(1995), *地質学論集*, 44, 263-308.; \*11 高橋・星(1995), *地質学雑誌*, 101 (10), 821-824.

\*12 星・高橋(1996), *地質学雑誌*, 102 (7), 573-590.

## 2. 事務局が収集した情報 我が国における火山の地域性－北海道－

7



北海道中央部～東部における火山位置の変化\*13

- 9-1.7 Ma: 太平洋プレートの千島弧に対する斜め沈み込みによる島弧火山活動\*13
- 1.7-0 Ma: 太平洋プレートの千島弧に対する直交に近い沈み込みによる火山活動\*13

➡ 数100万年以上の長期にわたり火山活動が連続して起こった地域はなく、火山活動の移動が頻繁に認められる\*13。

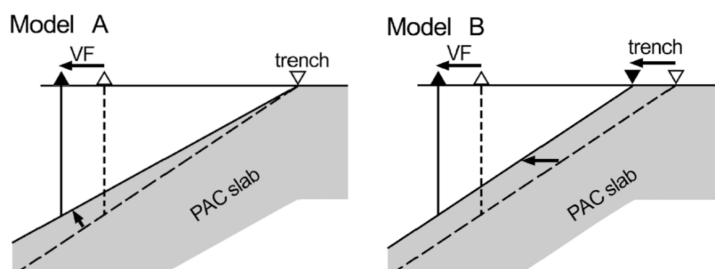
\*13 広瀬・中川 (1999), 地質学雑誌, 105 (4), 247-265.

## 2. 事務局が収集した情報 我が国における火山の地域性－伊豆・小笠原－

8

- 太平洋プレートの沈み込みにより形成された伊豆-小笠原弧の火山フロントは、4 Ma頃まで、現在の火山フロントの東方40 kmに位置し、それ以降、西方へ移動して現在の火山フロントの位置に至る\*14。
- フィリピン海プレートの進行方向の変遷\*14
  - ✓ 4 Ma以前が北北西方向
  - ✓ 4-2 Maが移行期
  - ✓ 2 Ma以降が北西方向

➡ 火山フロントの西方への移動はフィリピン海プレートの運動方向の転換を反映したものと考えられる\*14。



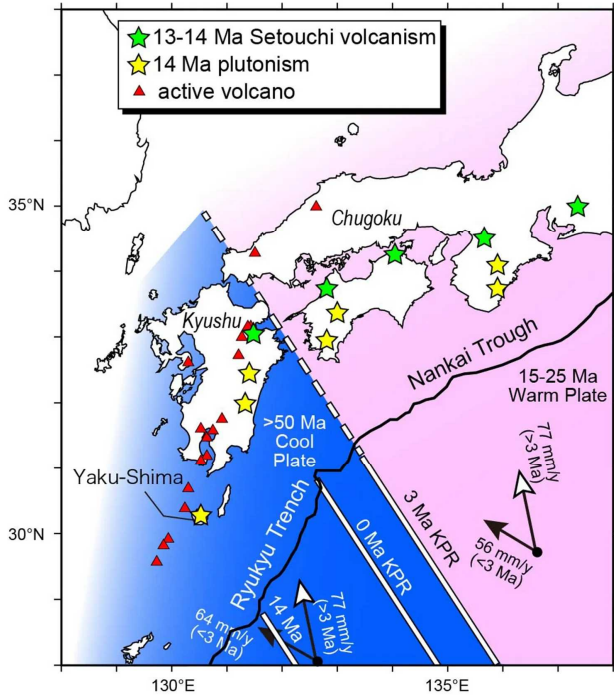
本地域における火山フロントの移動原因の可能性\*14  
(左図: スラブの沈み込みの角度が変化、右図: 海溝位置が変化)



## 2. 事務局が収集した情報

### 我が国における火山の地域性－中国・九州(1/2)－

9



九州地方及び中国地方の火山分布とプレートの沈み込み\*15

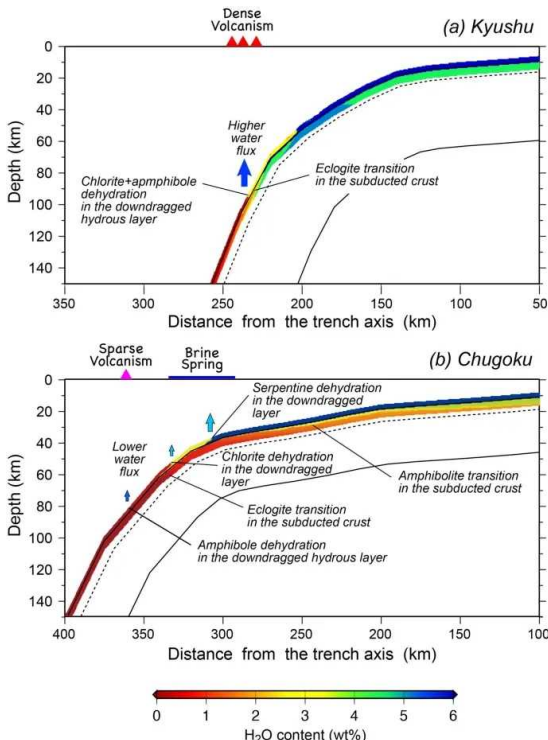
- 九州地方と中国地方はフィリピン海プレートが沈み込む地域である\*15。
- 火山の分布は九州地方では密であり、中国地方では粗である。
- 九州地方に沈み込んでいるプレートは50 Maより古く、冷えたプレートであることに対して、中国地方に沈み込んでいるプレートは15-25 Maとより若く、温かいプレートである\*15。

\*15 Tatsumi et al. (2020), Nature, Scientific Reports, 10:15005

## 2. 事務局が収集した情報

### 我が国における火山の地域性－中国・九州(2/2)－

10



プレートの沈み込みと脱水と水の放出に関するシミュレーション\*15

- 九州地方では、深度100 km程度で水の放出（緑泥石と角閃石の脱水）が起こっており、それを起因としてマグマが生成されていると考えられる\*15,16。
- 一方、中国地方では、深度40 km程度（蛇紋石の脱水）、深度50 km程度（緑泥石の脱水）で水の放出が起こっているが、それを起因として、水に富んだ深部流体が生成されていると考えられる\*15, 16。
- 中国地方では、マグマが生成するための深度に至る前にスラブの水分が失われることで、マグマの生成量が少なくなり、火山の数も少ないものと考えられる\*15。一方、日本海側には単成火山が存在し\*17、マグマの生成はマンテルの部分溶融によるものと考えられる\*17, 18, 19。

\*15 Tatsumi et al. (2020), Nature, Scientific Reports, 10:15005.

\*16 Peacock and Wang (1999), Science, 286 (5441), 937-939.

\*17 西村 (2016), 温泉科学, 66 (2), 124-136.

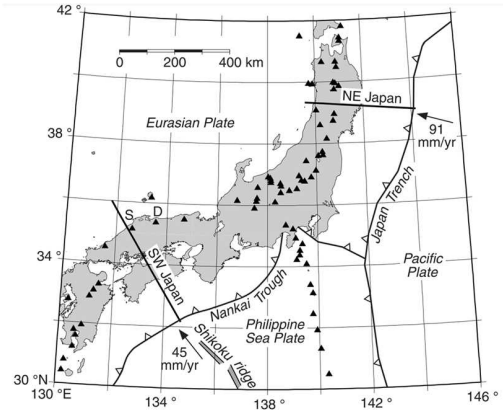
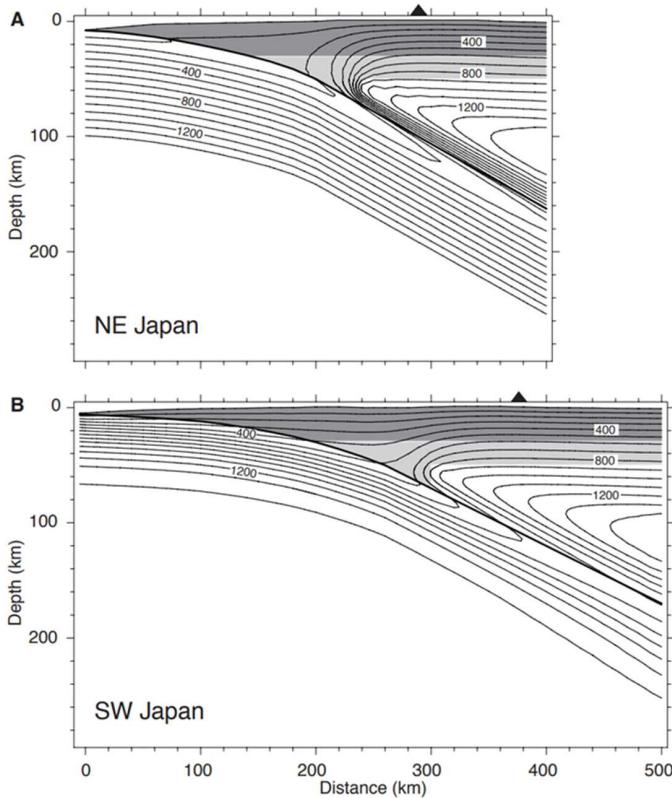
\*18 Iwamori (1992), Journal of Geophysical Research-Solid Earth, 97, 10983-10995.

\*19 片山ら (2010), 地学雑誌, 119 (2), 205-223.

## 2. 事務局が収集した情報

### プレートの沈み込み温度に関する東北日本と西南日本の比較

11



- 15-50 Maのフィリピン海プレートと比べ、130 Maの太平洋プレートは古く、冷えたプレート\*15, 16。
- 左図の例では、深度50 kmにおけるスラブ／マントル境界の温度は、東北日本では200°C、西南日本では500°C\*16。

\*15 Tatsumi et al. (2020), Nature, Scientific Reports, 10:15005

\*16 Peacock and Wang (1999), Science, 286 (5441), 937-939.

## 2. 事務局が収集した情報

### マグマ溜まりから地表等へのマグマの移動

12

- マグマ溜まりから供給されたマグマが地表へ到達するには、上部地殻における応力の状態や岩盤特性などが影響すると考えられる\*20。
- 第四紀火山の中心及び個別火山体(側火山等)※の分布に基づく、97.7%の火山で、火山中心から半径15 kmの範囲内に個別火山体が収まっているという報告がある\*21。
- 一方、15 kmの範囲を超えるような地中でのマグマの水平方向の移動が観測された事例(例えば、2000年の三宅島火山の噴火に伴う事象\*22-24)も報告されているが、このようなマグマの移動には、上記のような火口の移動も含めて、広域応力場と局所応力場の組合せが影響することが示唆されている\*25, 26。

※個々の第四紀火山は、一般的に、主火道とそれから分岐した複数の火道をもち、それにより形成される複数の側火山などの個別火山体によって構成されている。

\*20 高橋 (1994), 地学雑誌, 103 (5), 447-463.

\*21 経済産業省資源エネルギー庁 (2017), 「科学的特性マップ」の説明資料

\*22 津久井ら (2005), 火山地質図 12 三宅島火山, 産業技術総合研究所地質調査総合センター

\*23 Nishimura et al. (2001), Geophysical Research Letters, 28 (19), 3745-3748.

\*24 酒井ら (2001), 地学雑誌, 110 (2), 145-155.

\*25 三浦ら (2006), 電力中央研究所報告, N05024

\*26 土志田ら (2006), 電力中央研究所報告, N05026



## 2. 事務局が収集した情報 プレート運動の継続性

13

- 太平洋プレートの運動はおよそ43 Maの天皇海山列の屈曲以降は一定している\*27。
- フィリピン海プレートの過去の運動は、プレート上にホットスポットが存在しないため、解明されていない\*28。
- 3 Ma程度から開始されたと考えられる東北日本の東西収縮\*29については、フィリピン海プレートの運動の方向が変化したことが原因とする報告\*30がある。
- 日本列島のネオテクトニクスの枠組みにおいて多くの地域で地殻変動の方向や速度が一定になったのは数十万年前以降\*31との報告もあるが、これは地域的なものであり、大局的なプレート運動はより長期的に安定的と考えられる。



日本列島周辺のプレート運動は3 Ma程度から現在までほぼ一定と考えられる。

\*27 Harada and Hamano (2000), AGU Geophysical Monograph Series.

\*28 高橋 (2006), 地学雑誌, **115** (1), 116-123.

\*29 Sato (1994), Journal of Geophysical Research: Solid Earth, **99** (B11), 22261-22274.

\*30 Takahashi (2017), Bulletin of the Geological Survey of Japan, **58** (4), 155-161.

\*31 梅田ら (2013), 地学雑誌, **122** (3), 385-397.

## 2. 事務局が収集した情報 基本的なマグマの発生メカニズムに対する例外的事例

14

- 背弧海盆の拡大時(例えば、14 Ma以前の日本海の拡大時)には、高温のアセノスフェア※が上昇\*32し、これが前弧域側に流れ込むことにより、太平洋スラブのような冷えたスラブの上面が溶融し、多様な成分のマグマが発生\*33, 34して火山が発生した事例があるとされている(例えば、現在の福島県阿武隈山地に産する火山岩\*33)。
- 通常では火山活動が起こらないと考えられる前弧域で火山が発生した例外的な事例が報告されている(例えば、カムチャッカ\*35)。これはウェッジマントルに高温のアセノスフェアが存在し、海山が沈み込むことにより、海山由来のスラブ流体が発生し、これがマントルと反応することにより、マグマが発生するためと報告されている。
- 西南日本の紀伊半島においては高いヘリウム同位体比( $^3\text{He}/^4\text{He}$ )が測定されており\*36、この地域の深度30-60 kmにおいて低速度領域が存在することが地震波トモグラフィによって確認されている\*37ことから、フィリピン海スラブの下からのマントル上昇流によって $^3\text{He}$ が運ばれていることが示唆されている\*37。

※固いリソスフェア(プレート)の下に分布する柔らかく、比較的流動性に富んだ層

\*32 Hirai et al. (2018), Geology, **46** (4), 371-374.

\*33 Yamamoto and Hoang (2009), Lithos, **112** (3-4), 575-590.

\*34 Ishizuka et al. (2010), Earth and Planetary Science Letters, **294**, 111-122.

\*35 Nishizawa et al. (2017), Nature, Scientific Reports, **7**, 11515.

\*36 Sano and Wakita (1985), Journal of Geophysical Research, **90** (B10), 8729-8741.

\*37 Nakajima and Hasegawa (2007), Earth and Planetary Science Letters, **254**, 90-105.

### 3. 事務局の整理(御意見を踏まえた再整理)

(マグマの発生から火山噴火に至るまでのメカニズムとその地域性について)

15

- プレートの沈み込み帯である我が国における基本的なマグマの発生から噴火に至るまでのメカニズムは、スラブから高温のマントルウェッジへの水の放出によりメルトが生成し、モホ面直下に蓄積したメルトは結晶分化を起こしながら地殻内に貫入し、マグマ溜まりの形成した後、火山噴火に至る(p.3の1.~6.)。
- 東北日本(ここでは関東以北から北海道までを含む範囲を指す)に沈み込んでいる太平洋プレートは古いプレートであり、プレート自体が冷えていることに加え、当該地域では背弧海盆の拡大時に見られるような高温のアセノスフェアの上昇が生じていないため、当該沈み込み域においては、p13に挙げた例外的な事象が指摘されているものの、基本的に、マントルウェッジ内の高温部の上昇と水の供給による融点低下という状況が整った場合に、マグマが発生する。
- 西南日本におけるフィリピン海プレートの沈み込み域におけるマグマの発生メカニズムも基本的には太平洋プレートの沈み込み域と同様であるが、中国地方に沈み込んでいるプレートはプレート自体の温度が高いため、十分な水の供給がない条件であっても、沈み込んだプレートそのものの部分溶融(スラブメルティング)によってマグマが発生する場合もある。

### 3. 事務局の整理(御意見を踏まえた再整理)

(マグマの発生から火山噴火に至るまでのメカニズムとその地域性について)

16

(前のページからの続き)

- このように、プレート境界に位置する日本列島において、マグマの発生は、プレートの特性や運動と深い関係がある。
- なお、マグマ溜まりから供給されたマグマが地表へ到達する(p.3の6.)には、上部地殻における応力の状態や岩盤特性などが影響すると考えられる。
- 2000年の三宅島火山の噴火のように地中でマグマが大きく動いた事例はあるが、このようなマグマの移動や側火山の火口の移動は、広域応力場と局所応力場の組合せが影響することが示唆されている。

### 3. 事務局の整理(御意見を踏まえた再整理) (プレート運動の継続性と今後のマグマの発生の傾向について)

17

- 日本列島が形成されたとされている時期(約1400万年前)以前において生じたとされている背弧海盆の拡大のようなプレート運動の大きな変化が生じると、プレートの沈み込み域でのマントルウェッジの対流の状態が大きく変化すること等によって、火山の発生の傾向が大きく変化することが考えられる。
- 一方、プレート運動の大きな変化はその始まりから終息までに100万年～1000万年以上の期間を要したとされていることから<sup>\*38, 39, 40</sup>、仮にそのような変化が現在始まったとしても、例えば今後10万年程度のうちに現在のプレート運動が大きく変化することは想定し難い。
- すなわち、プレートの特性や運動と深い関係があるマグマの発生の傾向が今後10万年程度の間に変化することは想定し難い。
- これらを明確に否定する学説や科学的知見は見当たらない。

\*38 Jolivet et al. (1994), Journal of Geophysical Research, **99** (B11), 22,237-22,259.

\*39 Kimura and Tamaki (1986), Tectonics, **5** (3), 289-401.

\*40 Seno and Maruyama (1984), Tectonophysics, **102**, 53-84.

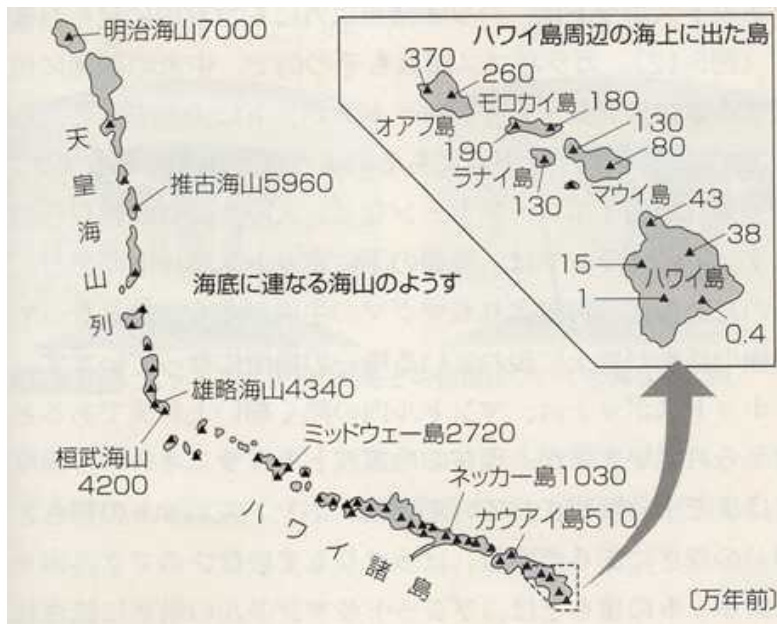
### 3. 事務局の整理(御意見を踏まえた再整理) (新たな火山発生の蓋然性について)

18

- 前述のプレート運動の継続性と今後のマグマの発生の傾向を踏まえると、現在マグマの発生条件が成立していないと考えられる地域では、今後10万年程度の期間において火山が発生する蓋然性は極めて低いと考えられる。該当地域の例としては、東北日本(ここでは関東以北から北海道までを含む範囲を指す)の前弧域が挙げられる。
- 現時点においてマグマの発生条件の成立を否定できない地域について新たな火山の発生の蓋然性を評価する場合には、マントルウェッジの対流や沈み込む海洋プレートの特性等を加味した評価モデル等の構築によって評価することが考えられるが、研究段階であり、現時点においては確立された評価方法は見当たらない。

# 参考資料

## 天皇海山列の屈曲

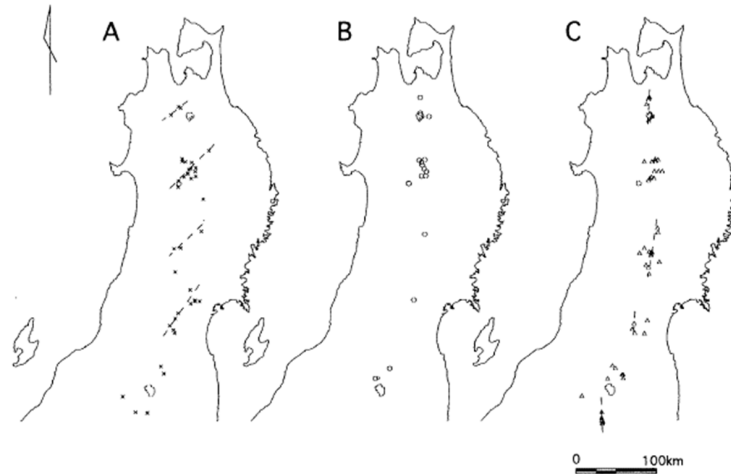


ハワイ諸島と天皇海山列の  
火山活動時期  
(木村・大木 (2013)<sup>\*41</sup>、  
鎌田 (2004)<sup>\*42</sup>及びClague and  
Dalrymple (1987)<sup>\*43</sup>を改変)

※およそ43 Ma頃に太平洋プ  
レーートの移動方向が北北西か  
ら西北西に変わったと推察

\*41 木村・大木 (2013), 図解・プレートテクトニクス入門.  
\*42 鎌田 (2004),地球は火山がつくった 地球科学入門.  
\*43 Clague and Dalrymple (1987), United States Geological Survey, Professional Paper, 1350, 5-54.

## 東北日本の中央部における第四紀火山の分布の推移



各時代 (A : 2.0Ma-1.0Ma、B : 1.0Ma-0.6Ma、  
C : 0.6Ma以降) における火山の噴出中心の分布\*44

※2.0Ma以降の噴出中心は1.0Ma-0.6Ma頃を境に、北東-南西ないしは東北東-西南西から南北方向に配列が変化したと考えられる。

※火山フロントに相当する東縁(海溝側)の噴出中心の分布をみると、東北日本の火山フロントは1.0Ma-0.6Ma頃を境に10~20km程度、海溝側に移動したことがわかる。

\*44 梅田ら (1999), 火山, 44 (5), 233-249.

## 付録5 考慮事項の全文

制定 令和4年8月24日 原規規発第2208241号 原子力規制委員会決定

### 特定放射性廃棄物の最終処分における概要調査地区等の選定時に 安全確保上少なくとも考慮されるべき事項

令和4年8月24日  
原子力規制委員会

原子力規制委員会は、特定放射性廃棄物の最終処分に関する基本方針（平成27年5月22日閣議決定）を受け、「概要調査地区等<sup>※1</sup>の選定時に安全確保上少なくとも考慮されるべき事項」（以下「考慮事項」という。）について、令和4年1月から7回にわたり審議を重ねてきた。審議に当たっては、我が国における火山の発生メカニズム等についての最新の科学的知見を確認する観点から、火山の専門家からの意見聴取を実施した。

原子力規制委員会は、審議の結果、最終処分施設建設地の選定時に、最終処分施設の設計による対応が困難であり、最終処分施設の設置を避けることにより対応する必要がある事象を対象に、以下の1. から4. を「考慮事項」とすることを決定した。

「考慮事項」は、概要調査地区等の選定時において、それぞれの時点で得られている情報に基づき、適切に考慮されるべきである。

また、各段階の調査において行われるボーリング等の調査は、断層の有無や地下水の流況等、重要な地質情報を収集するための行為である一方、天然バリアに対する擾乱を伴う行為であり、放射性物質の移動の促進につながる場の形成や地下水の流動特性の変化など、地質環境に対する影響が想定される。このため、ボーリング等の調査を実施する際には、この両方の側面を考慮する必要がある。さらに、最終処分施設建設地に関し、各調査段階において行われるボーリング等の調査によって得られた情報は、長期間にわたる埋設事業の期間中、保存しておく必要がある。

#### 1. 断層等

次に掲げる断層等を避けること。

- ① 後期更新世以降（約12～13万年前以降）の活動が否定できない断層等のうち震源として考慮する活断層
- ② 上記①の活断層の活動に伴い損傷を受けた領域
- ③ 後期更新世以降（約12～13万年前以降）の活動が否定できない断層等のうち地震活動に伴って永久変位が生じる断層及び変位を及ぼす地すべり面
- ④ 上記①及び③の断層等以外のものであって規模が大きい断層

ここで、後期更新世以降（約12～13万年前以降）の活動が否定できない断層等

---

※1 概要調査地区、精密調査地区及び最終処分施設建設地のことをいう。

の認定に当たって、後期更新世（約 12～13 万年前）の地形面又は地層が欠如する等、後期更新世以降の活動性が明確に判断できない場合には、中期更新世以降（約 40 万年前以降）まで遡って地形、地質・地質構造及び応力場等を総合的に検討した上で活動性を評価すること。なお、活動性の評価に当たって、設置面<sup>2</sup>での確認が困難な場合には、当該断層の延長部で確認される断層等の性状等により、安全側に判断すること。

## 2. 火山現象

次に掲げる場所を避けること。

- ① マグマの貫入による人工バリアの破壊が生ずるような第四紀（現在から約 258 万年前まで）における火山活動に係る火道、岩脈等の履歴が存在する場所
- ② 第四紀に活動した火山の活動中心からおおむね 15 キロメートル以内の場所
- ③ 第四紀に活動した火山が存在しない場所であっても、新たな火山が生じる可能性のある場所。ここで、プレートの特性や運動と深い関係があるマグマの発生の傾向は今後 10 万年程度の間大きく変化することは想定し難いことを考慮した上で、新たな火山が生じる可能性について検討すること。

## 3. 侵食

中深度処分<sup>※3</sup>より更に深い深度を確保すること。この際、隆起・沈降及び気候変動による大陸氷床量の増減に起因する海水準変動を考慮した侵食による深度の減少を考慮すること。

## 4. 鉱物資源等の掘採

資源利用のための掘削が行われる可能性がある十分な量及び品位の鉱物資源<sup>※4</sup>の鉱床の存在を示す記録が存在しないこと並びに地温勾配が著しく大きくないこと。

---

※2 本考慮事項において、「設置面」とは人工バリアを設置しようとする場所を指す。

※3 地表から深さ 70 メートル以上の地下に設置された廃棄物埋設地において放射性廃棄物（廃炉等に伴い発生する比較的放射能レベルの高いもの）を埋設の方法により最終的に処分すること。核燃料物質又は核燃料物質によつて汚染された物の第二種廃棄物埋設の事業に関する規則（昭和 63 年総理府令第 1 号）第 1 条の 2 第 2 項第 3 号に規定されているものをいう。

※4 鉱業法（昭和 25 年法律第 289 号）第 3 条第 1 項に規定されているものをいう。

付録 6

特定放射性廃棄物の最終処分における概要調査地区等の選定時に安全確保上少なくとも考慮されるべき事項と中深度処分の規制基準との比較表

(下線部は中深度処分の規制基準と異なる部分)

中深度処分の規制基準		特定放射性廃棄物の最終処分における概要調査地区等に安全確保上少なくとも考慮されるべき事項
第二種廃棄物埋設施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則（平成 25 年原子力規制委員会規則第 30 号）	第二種廃棄物埋設施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則の解釈（原管廃発第 1311277 号）	
<p>(中深度処分に係る廃棄物埋設地)</p> <p>第十二条 中深度処分に係る廃棄物埋設地は、次の各号に掲げる要件を満たすものでなければならない。</p> <p>一 断層運動、火山現象その他の自然現象により人工バリアの著しい損傷が生じるおそれがないものであること。</p>	<p>第 1 2 条 (中深度処分に係る廃棄物埋設地)</p> <p>1 第 1 項第 1 号の規定は、廃棄物埋設地の位置について、次のことを求めている。</p> <p>一 人工バリアを、次に掲げる断層等を避けて設置すること。</p> <p>① 後期更新世以降（約 1 2 ～ 1 3 万年以前以降）の活動が否定できない断層等のうち震源として考慮する活断層</p> <p>② 上記①の活断層の活動に伴い損傷を受けた領域</p> <p>③ 後期更新世以降（約 1 2 ～ 1 3 万年以前以降）の活動が否定できない断層等のうち震活動に伴って永久変位が生じる断層及び変位を及ぼす地すべり面</p> <p>④ 上記①及び③の断層等以外のものであって規模が大きい断層</p> <p>④ 上記①及び③の断層等以外のもの</p>	<p>特定放射性廃棄物の最終処分における概要調査地区等の選定時に安全確保上少なくとも考慮されるべき事項</p> <p>1. 断層等</p> <p>次に掲げる断層等を避けること。</p> <p>① 後期更新世以降（約 12 ～ 13 万年以前以降）の活動が否定できない断層等のうち震源として考慮する活断層</p> <p>② 上記①の活断層の活動に伴い損傷を受けた領域</p> <p>③ 後期更新世以降（約 12 ～ 13 万年以前以降）の活動が否定できない断層等のうち地震活動に伴って永久変位が生じる断層及び変位を及ぼす地すべり面</p> <p>④ 上記①及び③の断層等以外のものであって規模が大きい断層</p> <p>ここで、後期更新世以降（約 12 ～ 13 万年以前以降）の活動が否定できない断層等の認定に当たって、後期更新世（約 12 ～ 13 万年前）の地形面又は地層が欠如する等、後期更</p>



	<p>であって規模が大きい断層</p> <p>ここで、後期更新世以降(約12～13万年前以降)の活動が否定できない断層等の認定に当たって、後期更新世(約12～13万年前)の地形面又は地層が欠如する等、後期更新世以降の活動性が明確に判断できない場合には、中期更新世以降(約40万年前以降)まで遡って地形、地質・地質構造及び応力場等を総合的に検討した上で活動性の評価すること。なお、活動性の評価に当たっては、当該断層の延長部で確認される断層等の性状等により、安全側に判断すること。</p> <p>二 人工バリアは、廃棄物埋設地の建設・施工時において上記③及び④の断層等が発見された場合には、当該断層等を避けて設置するとの方針としていること。</p>	<p>新世以降の活動性が明確に判断できない場合には、中期更新世以降(約40万年前以降)まで遡って地形、地質・地質構造及び応力場等を総合的に検討した上で活動性を評価すること。なお、活動性の評価に当たっては、当該断層の延長部で確認される断層等の性状等により、安全側に判断すること。</p>
<p>(中深度処分に係る廃棄物埋設地)</p> <p>第十二条 中深度処分に係る廃棄物埋設地は、次の各号に掲げる要件を満たすものでなければならぬ。</p> <p>一 断層運動、火山現象その他の自然現</p>	<p>第12条(中深度処分に係る廃棄物埋設地)</p> <p>1 第1項第1号の規定は、廃棄物埋設地の位置について、次のことを求めている。(略)</p> <p>三 廃棄物埋設地を、次に掲げる場所を</p>	<p>2. 火山現象</p> <p>次に掲げる場所を避けること。</p> <p>① マグマの貫入による人工バリアの破壊が生ずるような第四紀(現在から約258万年前まで)における火山活動に係</p>

<p>象により人工バリアの著しい損傷が生じるおそれがないものであること。</p>	<p>避けて設置すること。</p> <p>① マグマの貫入による人工バリアの破壊が生ずるような第四紀（現在から約258万年前まで）における火山活動に係る火道、岩脈等の履歴が存在する場所</p> <p>② 第四紀に活動した火山の活動中心からおおむね15キロメートル以内の場所</p>	<p>る火道、岩脈等の履歴が存在する場所</p> <p>② 第四紀に活動した火山の活動中心からおおむね15キロメートル以内の場所</p> <p>③ 第四紀に活動した火山が存在しない場所であっても、新たな火山が生じる可能性のある場所。ここで、プレートの特性や運動と深い関係があるマグマの発生の傾向は今後10万年程度の間に大きく変化することは想定し難いことを考慮した上で、新たな火山が生じる可能性について検討すること。</p>
<p>(中深度処分に係る廃棄物埋設地)</p> <p>第十二条 中深度処分に係る廃棄物埋設地は、次の各号に掲げる要件を満たすものでなければならぬ。</p> <p>(略)</p> <p>二 侵食により地表からの深さが七十メートル未満に減少するおそれがないものであること。</p>	<p>第12条 (中深度処分に係る廃棄物埋設地)</p> <p>2 第1項第2号の規定は、廃棄物埋設地の位置について、隆起・沈降及び気候変動による大陸氷床量の増減に起因する海水準変動を考慮した侵食（廃棄物埋設地の近くに、河川がある場合は下刻の進展に伴って谷幅が広がる側方の侵食も考慮し、海岸がある場合は海食による侵食も考慮する）による10万年間の深度の減少を考慮しても、100万年後において廃棄物埋設地を鉛直方向に投影した地表面のうち、最も高度の低い地点から廃棄物埋設地の頂部までの距離が70メートル以上であることを求めている。</p>	<p>3. 侵食</p> <p>中深度処分より更に深い深度を確保すること。この際、隆起・沈降及び気候変動による大陸氷床量の増減に起因する海水準変動を考慮した侵食による深度の減少を考慮すること。</p>

<p>(中深度処分に係る廃棄物埋設地)</p> <p>第十二条 中深度処分に係る廃棄物埋設地は、次の各号に掲げる要件を満たすものでなければならぬ。</p> <p>(略)</p> <p>三 鉱物資源又は発電の用に供する地熱資源の掘採が行われるおそれがないものであること。</p>	<p>第12条(中深度処分に係る廃棄物埋設地)</p> <p>3 第1項第3号の規定は、廃棄物埋設地の位置について、資源利用のための掘削が行われる可能性がある十分な量及び品位の鉱物資源の存在を示す記録が存在しないこと並びに地温勾配が著しく大きくなることを求めている。ここで「鉱物資源」とは、鉱業法(昭和25年法律第289号)第3条第1項に規定されるものをいう。</p>	<p>4. 鉱物資源等の掘採</p> <p>資源利用のための掘削が行われる可能性がある十分な量及び品位の鉱物資源の存在を示す記録が存在しないこと並びに地温勾配が著しく大きくなること。</p>
--	--	---

## 執筆者一覧

原子力規制庁 長官官房 技術基盤グループ 放射線・廃棄物研究部門  
鏡 健太 副主任技術研究調査官  
木嶋 達也 副主任技術研究調査官  
青木 広臣 主任技術研究調査官

原子力規制庁 原子力規制部 研究炉等審査部門  
志間 正和 安全規制管理官（研究炉等審査担当）

原子力規制庁 原子力規制部 原子力規制企画課  
大村 哲臣 国際原子力安全規制制度研究官  
直井 佑希子 規制制度係長