

平成 29 年（ラ）第 246 号 玄海原子力発電所 3 号機、4 号機再稼働差止め処分
命令申立却下決定に対する即時抗告事件

抗告人 石丸ハツミ 外 172 名

相手方 九州電力株式会社

即時抗告準備書面 1

平成 30 年 5 月 31 日

福岡高等裁判所 第 5 民事部 御中

相手方訴訟代理人弁護士 堤 克彦



同 山内 喜明



同 永原 豪



同 熊谷 善昭



同 家永 由佳里



同 池田 早織



目 次

| | |
|--|----|
| 第 1 総論 | 4 |
| 第 2 相手方の地震動評価が合理的であること | 4 |
| 1 入倉・三宅式及び壇ほかの式を含む強震動予測レシピについて | 4 |
| (1) 強震動予測レシピの合理性（強震動予測の高度化） | 4 |
| (2) 強震動予測レシピの適用性の確認 | 7 |
| (3) 抗告人らの主張に対する反論 | 8 |
| 2 入倉・三宅式及び壇ほかの式について | 10 |
| (1) 入倉・三宅式の合理性 | 10 |
| (2) 壇ほかの式の合理性 | 11 |
| 3 経験式が有するばらつきの考慮 | 13 |
| 4 抗告人らの求釈明に対する回答 | 13 |
| 第 3 本件原子力発電所の配管について技術基準規則18条1項に適合することを 確認していること | 15 |
| 第 4 本件原子力発電所における火山に対する評価が合理的であること | 18 |
| 1 火山影響評価の概要 | 19 |
| 2 本件原子力発電所に影響を及ぼし得る火山の抽出 | 19 |
| (1) 相手方による調査内容 | 19 |
| ア 文献調査 | 19 |
| イ 地形・地質調査 | 20 |
| ウ 地球物理学的調査 | 20 |
| (2) 相手方による調査結果 | 20 |
| 3 本件原子力発電所の運用期間中における火山活動に関する個別評価 | 23 |
| (1) 評価の概要 | 23 |
| (2) 5つのカルデラ火山の破局的噴火の可能性の評価 | 23 |
| ア 破局的噴火とは | 23 |
| イ 噴火間隔 | 25 |

| | |
|--|----|
| ウ 噴火ステージ | 26 |
| エ マグマ溜まりの状況..... | 27 |
| (3) 阿蘇カルデラの個別評価..... | 33 |
| ア 阿蘇カルデラの噴火間隔について | 33 |
| イ 阿蘇カルデラの噴火ステージについて | 34 |
| ウ 阿蘇カルデラのマグマ溜まりの状況について | 35 |
| エ 前兆現象に関する最新の知見である「小林（2017）」について | 41 |
| 4 カルデラ火山のモニタリングについて | 41 |
| (1) モニタリングの概要..... | 41 |
| (2) 阿蘇カルデラにおけるモニタリングの状況について | 42 |
| 5 火山事象の影響評価..... | 43 |
| (1) 評価の概要 | 43 |
| (2) 降下火砕物の影響評価 | 44 |
| ア 想定した噴火 | 44 |
| イ 想定した降下火砕物の層厚 | 47 |
| ウ 設備に対する影響評価 | 47 |
| 第5 結論 | 48 |

第1 総論

相手方は、抗告入らの抗告理由に対して、抗告審答弁書において相手方の地震動評価が合理的であり、配管の安全性が確保されていることを主張し、抗告入らの主張に対して必要な反論をしたところである。

これに対し、抗告入らは、平成30年3月28日付即時抗告主張書面（1）において、相手方の地震動評価および配管の安全性について改めて主張するとともに、新たに火山に関する評価についての主張を追加している。

本書面では、地震動評価および配管の安全性に関する抗告入らの主張に対して必要な範囲で反論するとともに、相手方の火山に関する評価が合理的であることを主張するものである。

第2 相手方の地震動評価が合理的であること

相手方は、入倉・三宅式を含む強震動予測レシピが現在の科学技術水準に照らして合理的なものであり、玄海原子力発電所3号機及び4号機（以下併せて「本件原子力発電所」という。）における地震動評価に当たっては強震動予測レシピの適用性を確認した上で同レシピを用い、さらに、経験式が有するばらつきを考慮し十分安全側に地震動評価を行っており、相手方の地震動評価が合理的かつ妥当なものであること等を主張している。抗告入らは、即時抗告主張書面（1）において、相手方の地震動評価について縷々主張するが、基本的には従前の主張の繰り返しに過ぎない。

以下、相手方の地震動評価が合理的なであることについて改めて主張した上で、抗告入らの主張に対して必要な範囲で反論を行う。

1 入倉・三宅式及び壇ほかの式を含む強震動予測レシピについて

（1）強震動予測レシピの合理性（強震動予測の高度化）

ア 1995年の兵庫県南部地震以降、地震調査研究推進本部を中心として日本全国に地震観測網が拡充され、例えば強震動（建物等に被害を及ぼす

ような地震による強い揺れ) の観測を目的とした K-NET は、約 20km の間隔で 1,000 箇所以上設置されており、中小地震のみならず、2000 年の鳥取県西部地震、2003 年の十勝沖地震、2005 年の福岡県西方沖地震等の近年発生した規模の大きい地震においても震源近傍の強震記録が取得されている。

取得された震源近傍の強震記録を用いて、震源インバージョン解析により地下の断層の形態や破壊の特性を推定する研究や、強震動シミュレーション解析等の精力的な強震動研究を通して、震源断層の破壊過程が明らかになった。

その結果、強震動予測に重要な要素は、震源断層の総面積と地震モーメントの関係等、震源断層の形態・規模を表す巨視的断層パラメータと、アスペリティの分布や応力降下量等の不均質性を示す微視的断層パラメータの 2 つであることがわかり、ディレクティビティ効果¹などの破壊開始点の位置の違い等が強震動評価に大きく影響することもわかった。

これらの特性をある程度単純なモデルに置換し強震動を再現するためには検証されてきたのが特性化震源モデルである。

イ 特性化震源モデルに関する先駆的研究の事例として、Kamae and Irikura(1998)は、震源インバージョン解析で得られた兵庫県南部地震の震源のすべり分布を参考にして、すべりの大きい 3 つの領域にそれぞれ矩形の断層（ここではアスペリティ）を配置した比較的単純な断層モデルを用いて経験的グリーン関数法によって震源域の強震波形に見られるパルス波（振幅の急峻な変化）や、卓越周期（大振幅が繰り返す周期）等の特徴の再現に成功している。このことは、震源インバージョンによって得られた断層モデルのすべり量の大きな領域（アスペリティ）から

¹ ディレクティビティ効果：断層の破壊進行方向に位置する観測点では、アスペリティから放出された大きな地震波が重なりあい、大振幅で継続時間が短い波形が生成され、これをディレクティビティ効果と呼ぶ。1995 年兵庫県南部地震では、ディレクティビティ効果等により、周期 1 秒前後のパルスを有する強震動が観測され、これが建物等の被害を生じさせた原因であると考えられた。

短周期地震動が発生すること、また、このような検討を重ねることで短周期から長周期までの広い周期帯域（以下「広帯域」という。）の強震動を再現するための震源モデルが確立できる可能性を示していた。そして、その後の研究において、同様のモデルによる広帯域地震動の再現性の検討がなされている。【乙 158 (S426～S427 頁)】

上記のような震源インバージョンに関する知見や強震動評価に関する知見を踏まえて、Somerville et al.(1999)では、強震動予測に必要な震源断層のパラメータを得るために、震源インバージョンで得られた不均質なすべり分布をコンパイル²し、一定の規範（断層面を碁盤の目で分けた時、平均すべり量の 0.3 倍以上の部分を全体の断層面積、平均すべり量の 1.5 倍以上の部分をアスペリティと定義）を用いてアスペリティと全体の断層面積からアスペリティを除外した部分（背景領域）に分け、アスペリティ面積の地震規模依存性³を分析して、震源断層の特性化が試みられ、その後の研究により、広帯域の強震動評価に Somerville et al.(1999)の知見が有効であることが検証された。

そして、Somerville et al.(1999)の知見を踏まえ入倉・三宅（2001）では、強震動予測のための特性化震源モデルの構築方法を主たる目的として研究が行われた。

ウ 地震調査研究推進本部地震調査委員会（以下「地震調査委員会」という。）は、防災対策への活用を目的とした全国地震動予測地図の作成において、これらの多くの特性化震源モデルの構築に関する知見を取り入れつつ、12 件の強震動評価を実施し公表した。また、2000 年鳥取県西部地震や 2003 年十勝沖地震の発生により得られた震源周辺の地震観測記録を用いて、強震動予測手法の検討を目的とした特性化震源モデルの有

² コンパイル：編集のために、資料等を集めること。ここでは、Somerville et al.(1999)において、実地震の破壊過程を震源インバージョンにより分析した文献を調査し、不均質なすべり分布のデータを収集したことを意味する。

³ アスペリティ面積の地震規模依存性：アスペリティ面積が地震規模と比例関係にあること。

効性検証が行われた。このような評価検証を繰り返しながら、特性化震源モデルのパラメータの設定方法を比較的簡便な数式を用いて詳細にまとめられたものが強震動予測レシピである。

強震動予測レシピについては、策定後も 2005 年福岡県西方沖地震の観測記録を用いて、強震動予測手法の検証・高度化を目的に特性化震源モデルを用いた検証が行われる等、地震動評価の知見の進展を踏まえ、隨時修正・改訂がなされてきた。

エ このように、強震動予測レシピは、地震調査委員会が実施してきた強震動評価に関する検討結果から、強震動予測手法の構成要素となる震源特性、地下構造モデル、強震動計算並びに予測結果の検証の現状における手法や震源特性パラメータの設定に当たっての考え方がとりまとめられ、震源断層を特定した地震を想定した場合の強震動を高精度に予測するための「誰がやっても同じ答えが得られる標準的な方法論」を確立することを目的とし、地震動評価の知見の進展を踏まえて随时修正・改訂されてきたものであり、今後も修正・改訂がなされることを前提としている。

オ 以上のとおり、強震動予測レシピは、震源特性を表す様々なパラメータを設定する方法を体系的に整理し、体系全体をもって観測事実との整合性を検証することでその妥当性が確認された合理的な手法である。

(2) 強震動予測レシピの適用性の確認

強震動予測レシピは、平均的な地震動を評価する手法であり、具体的な地震動評価に当たっては、当該地域の地域的な特性を踏まえて強震動予測レシピを適用することができるかを確認することが重要である。抗告審答弁書で既に述べたとおり、相手方は、強震動予測レシピを用いて 2005 年福岡県西方沖地震の震源モデルを策定し、本件原子力発電所敷地の地震動をシミュレーションした結果が実際に 2005 年福岡県西方沖地震の際に敷

地で観測された記録を良く再現できることを確認しており、相手方は、本件原子力発電所において強震動予測レシピの適用性を確認した上で用いている。

(3) 抗告人らの主張に対する反論

ア 抗告人らは、即時抗告主張書面(1)・24頁において強震動予測レシピが一体性を持っているとか、一部の関係式が置き換えられると科学的合理性が失われるという根拠を相手方は何ら示すことができていない旨主張する。

しかしながら、単に入倉・三宅式を武村式に置き換えた場合に、科学的合理性が失われる(パラメータに矛盾が生じる)ことは、原子力規制庁(原子力規制委員会)が実施した関西電力株式会社の大飯発電所の地震動に係る試算から明らかである。

この点、原子力規制庁(原子力規制委員会)も上記試算の結果、「入倉・三宅式から武村式に置き換えて評価すると、非現実的なモデルとなり、この結果をもって、大飯発電所の基準地震動の妥当性を議論することは適切ではないこと、大飯発電所の基準地震動策定に用いた入倉・三宅式は、震源断層の詳細な調査結果をもとに断層モデルを用いて地震動を策定するまでの一連の手法として広く検証されたものであり、審査にあたっては断層長さや断層幅等に係る保守性の考慮が適切になされていることを確認していることから、基準地震動を見直す必要がなく、武村式を用いた地震動評価手法は確立されておらず、規制において要求または推奨すべき手法として位置づけるまでの科学的・技術的な熟度には至っていない(基準地震動Ssの妥当性を議論するのに適さない)」としている(原審準備書面16(9~10頁))。(図1)

このように、「武村式」による地震モーメントを用いた地震動評価は、「入倉・三宅式」を含む強震動予測レシピとは異なり、地震観測記録の再現性

の確認等を経た評価体系として確立されておらず、「武村式」を用いずに「入倉・三宅式」を用いることは合理的であり、抗告人らの主張は理由がない。

イ また、抗告人らは、相手方が川内原子力発電所では、入倉・三宅式によらず過去の地震データから地震モーメントを導いており、他にもレシピとは異なる関係式が用いられていることから、入倉・三宅式を他の式に置き換えるとレシピとしての科学的合理性が失われるという相手方の主張には根拠がないとも主張する。

相手方は、川内原子力発電所の地震動評価において、入倉・三宅式ではなく過去の地震データ（鹿児島県北西部地震）から地震モーメントを設定している。しかしながら、相手方は、過去の地震データを用いるにあたって過去の地震データを用いた場合の地震動評価結果と観測記録との再現性を確認した上で、強震動予測レシピに従って算出した値に比べて保守的（安全側）であることからかかる評価手法を採用したものであり【乙159（47～52頁、84～85頁）】、抗告人らの主張は理由がない。

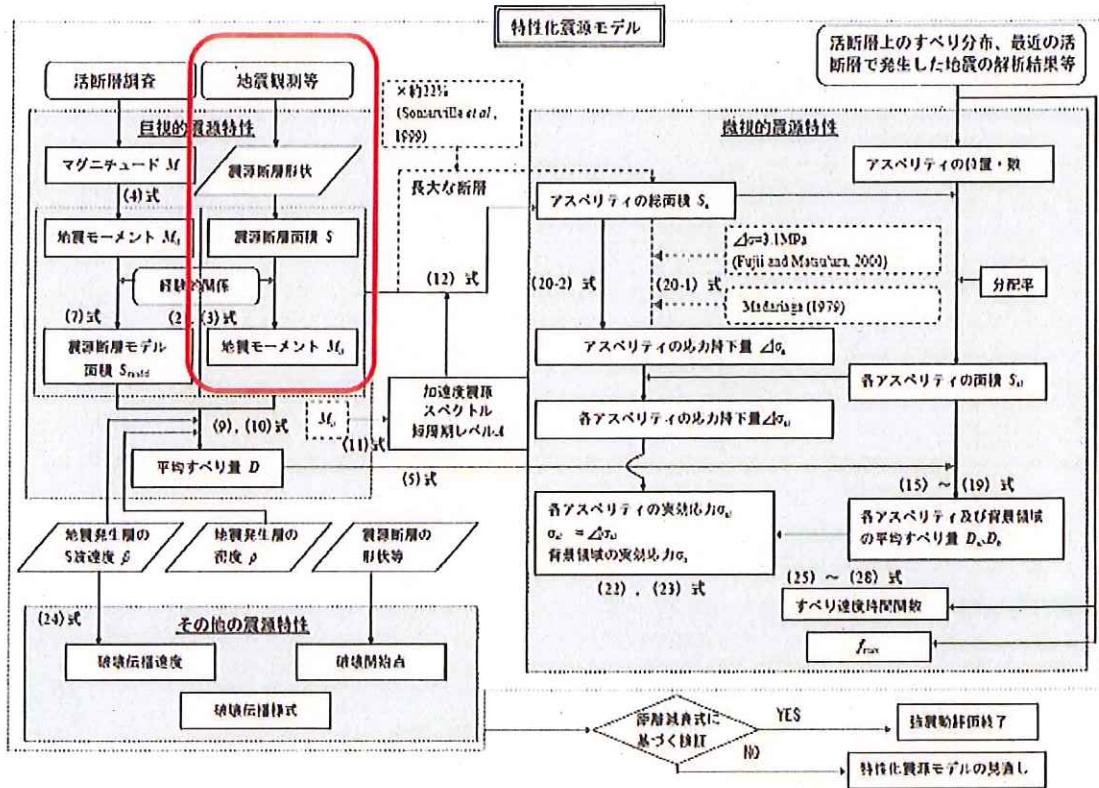


図1 強震動予測レシピにおける震源パラメータの設定フロー

(【乙62 付録3-36 付図2】に加筆)

2 入倉・三宅式及び壇ほかの式について

(1) 入倉・三宅式の合理性

抗告審答弁書で述べたとおり、入倉・三宅式は、強震動予測レシピにおいて「過去の地震記録などに基づき震源断層を推定する場合や詳細な調査結果に基づき震源断層を推定する場合」の、断層面積 S と地震モーメント M_0 との関係式として採用された経験式であり、信頼性の高い震源インバージョンデータに基づいて作成され、1995年以降に国内で発生した最新の18個の内陸地殻内地震に関する震源インバージョン結果とも整合性が確認された合理的なものである。(図2)

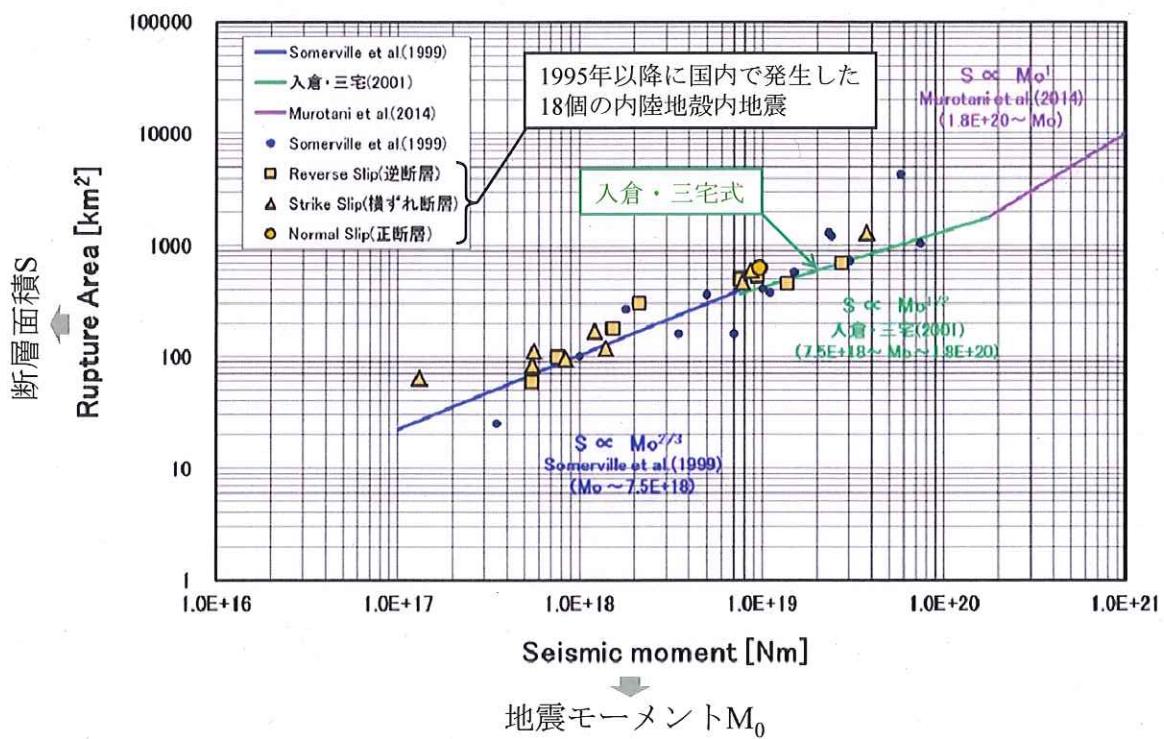


図2 1995年以降に国内で発生した18個の内陸地殻内地震の断層面積Sと地震モーメント M_0 との関係(入倉ほか(2014)【乙66(1529頁)】の図2(a)に加筆)

(2) 壇ほかの式の合理性

抗告審答弁書で述べたとおり、壇ほかの式は、地震モーメント M_0 と短周期レベルAの関係性を示すものとして、上述の入倉・三宅式と同様、強震動予測レシピに体系的に組み込まれている経験式であって、2000年鳥取県西部地震及び2005年福岡県西方沖地震の地震観測記録との整合性が確認された合理的なものである。さらに、壇ほかの式や片岡ほかの式が示された後の知見である佐藤(2010)及び佐藤・堤(2012)においても、特に大規模な地震についての短周期レベルAと地震モーメント M_0 との関係を表す場合は片岡ほかの式ではなく、壇ほかの式が用いられていること、また、2016年熊本地震に関しても、短周期レベルAと地震モーメント M_0 との関係が壇ほかの式に整合することが佐藤(2016)により示されていることから、壇ほかの式は合理

的なものであるといえる。

なお、抗告人らは、壇ほかが仮定する短周期レベルAが地震モーメント M_0 の $1/3$ 乗に比例するという関係性は Somerville et al と結びついており、壇ほかの式には適用範囲 (M_0 [dyne·cm] < 7.5×10^{25} (M_0 [Nm] < 7.5×10^{18} と同じ)) が存在する旨主張する。(即時抗告主張書面 (1) 27~28 頁, 31 頁)

しかしながら、壇ほか(2001)においては、壇ほかの式による地震モーメント M_0 と短周期レベルAとの関係性が実線で示されており(図3), 回帰に用いたデータの範囲が $3.5 \times 10^{24} \leq M_0$ [dyne·cm] $\leq 7.5 \times 10^{26}$ であるとされている【乙 67 (53 頁)】。このことから、壇ほかの式の適用範囲には少なくとも $3.5 \times 10^{24} \leq M_0$ [dyne·cm] $\leq 7.5 \times 10^{26}$ の範囲が含まれるものと解されるのであって、抗告人らの主張は誤りである。

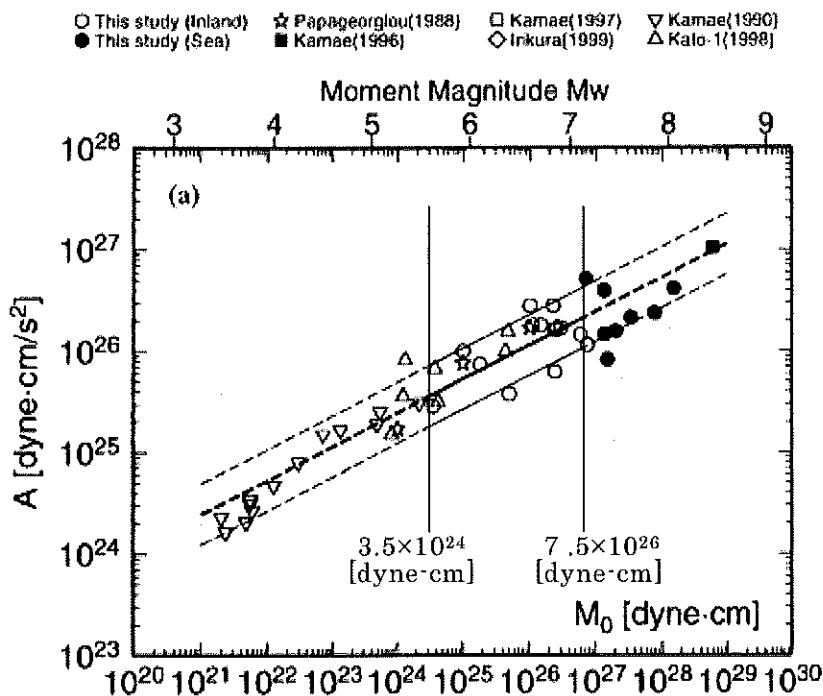


図3 地震モーメント M_0 と短周期レベルAとの関係
(壇ほか(2001) 54 頁の図1左に加筆)

3 経験式が有するばらつきの考慮

抗告審答弁書で述べたとおり、経験式は、その基となった各データとの間に乖離（ばらつき）が存在し、また、各データから求められた経験式は、地震の「平均像」を示すものであり、各データにおける経験式との乖離（ばらつき）は、当該地震が発生した地域の地域的な特性を示すものである。

そのため、相手方は、地震動評価において経験式を用いるにあたっては、経験式に乖離（ばらつき）があることを踏まえ、評価対象地域における地震の地域的な特性を十分に考慮した上で、基準地震動が過小とならないよう多面的に安全側の評価を行っている。

なお、相手方は審査ガイドの記載に基づき、本件原子力発電所の基準地震動において経験式を用いる際には、震源断層の規模が経験式の適用範囲を満たしていることを確認している。

4 抗告人らの求釈明に対する回答

(1) 乖離（ばらつき）の大きいデータを示す地震の地域の特性と本件原発敷地の地域の特性を対比するという手法をとらずに、本件原発敷地の地域の特性のみを考慮・評価するとしているのはなぜか。

(回答)

経験式は、実際に発生した事象の各データを基に、最小二乗法⁴によって求められるものである。したがって上記各データから求められた経験式は、地震の「平均像」を示すもの（当然、乖離の大きいデータの地域的な特性も反映されたもの）であり、各データにおける経験式との乖離（ばらつき）

⁴ 最小二乗法：2変数 x ， y の間に一方が他方を左右ないし決定する関係があるとき、 x と y の間の関係式 $y = b x + a$ を与える客観的な方法である。すなわち、観測記録のデータや実験値等の現実の値を (x_i, y_i) とし、 x_i から予想される y の値 $b x_i + a$ と現実の値 y_i が、最も小さい隔たりを持つのが、最適な直線 $y = b x_i + a$ の引き方である。そして、最も小さい隔たりとなるよう a ， b の値を求める方法は、現実の値 (x_i, y_i) と関係式から求められる $(x_i \text{ と } y = b x_i + a)$ の各点の隔たりの二乗和を最小にする a ， b の値を求めることがある。この方法により、誤差を最小にして2変数の関係を最もよく当てはまる直線を得ることができる。

は、当該地震が発生した地域の地域的な特性を示すものである。そこで、地震動評価において経験式を用いるにあたっては、経験式に対して評価対象地域がどのような傾向にあるのか（地域的な特性）を十分に把握した上で評価することが重要なのであって、評価対象地域の地域性と経験式の基となった個々のデータの地域性（ばらつきの大きなデータの地域性）とを対比することに意味はない。

(2) 本件原発敷地の地域の特性から想定される地震の規模（モーメント）は平均式の示す規模（モーメント）と比べてどの程度大きいあるいは小さいものと判断しているのか。また、その根拠は。

(回答)

本件原子力発電所敷地周辺の地震モーメントは強震動予測レシピに基づき算出される平均的なレベルと判断している。その根拠としては、強震動予測レシピを用いて2005年福岡県西方沖地震の震源モデルを策定し、本件原子力発電所敷地の地震動をシミュレーションした値が、実際に2005年福岡県西方沖地震の際に敷地で観測された記録を良く再現できるためである。

なお、相手方は、本件原子力発電所の地震動評価においては、経験式にばらつきが存在することを踏まえ、強震動予測レシピが本件原子力発電所敷地周辺を含む北部九州地域において適合性があることを確認した上で、詳細な調査や観測事実等を基に地域的な特性を安全側に反映し、さらに不確かさを考慮し、最終的に策定する本件原子力発電所の基準地震動Ssが過小とならないよう安全側の評価を行っている。

第3 本件原子力発電所の配管について技術基準規則18条1項に適合することを確認していること

抗告人らは、即時抗告主張書面（1）・38～39頁において、相手方が学協会規格に過ぎない維持規格に基づいて点検を実施しているだけであり、「実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則」（以下「技術基準規則」という。）第18条1項に適合していないかの如く主張する。しかしながら、相手方は、以下のとおり、技術基準規則第18条1項に従って配管の安全性が確保されていることを確認しており、抗告人らの主張は理由がない。

1 「核原料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律」（以下「原子炉等規制法」という。）第43条の3の14では、原子力規制委員会が定める技術基準規則への適合維持義務が定められている。これを受けた技術基準規則第18条1項では、「使用中のクラス1機器・・・には、その破壊を引き起こす亀裂その他の欠陥があつてはならない。」と定め、「実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則の解釈」（以下「技術基準規則の解釈」という。）において、「その破壊を引き起こす亀裂その他の欠陥があつてはならない。」とは、「「実用発電用原子炉及びその附属施設における破壊を引き起こす亀裂その他の欠陥の解釈」（以下「亀裂その他の欠陥の解釈」という。）の規定に適合するものであること。」とされている。

亀裂その他の欠陥の解釈では、以下のように定められている。

1. 機器及び構造物一般の場合

原子炉施設に属する機器及び構造物のうち維持規格に規定するクラス1機器, ···(略)···については, 次に掲げる方法により確認する。

(1) 別紙1に定める非破壊試験を行う。

(2-1) 当該試験によって検出された亀裂, 孔その他の損傷(以下「亀裂等」という。)については, その形状及び大きさが特定されたとき, 別紙2に定める評価を行う。

(2-2) 当該評価の結果, 維持規格及び事例規格の許容基準に適合する亀裂等については, 規則不適合欠陥に該当しないものとして扱う。

上記亀裂その他の欠陥の解釈の別紙1「非破壊試験の方法について」については, 非破壊試験⁵の方法として, 維持規格に従い実施することが定められており, あわせて「発電用原子力設備規格 維持規格(2008年版)」(以下「維持規格」という。)によらず非破壊試験を行う試験部位に対する試験方法, 試験の範囲及び程度等も定められている【乙110(4~6頁)】。一例として, 原子炉格納容器内の呼び径が40Aを超えるクラス2配管であって, 原子炉運転中のクラス1配管内と同温・同圧の1次冷却材が流れる範囲⁶の突き合わせ溶接継手については, 維持規格において非破壊試験の免除等が定められているところ, 亀裂その他の欠陥の解釈に基づき検査間隔中すべての溶接継手の数の25%について, 溶接部に超音波探傷試験を実施することとされている。

すなわち, 技術基準規則第18条1項への適合性については, 亀裂その他

⁵ 非破壊試験: 素材や製品を破壊せずに, 傷の有無・その存在位置・大きさ・形状・分布状態などを調べる試験。試験方法として, 超音波探傷試験, 浸透探傷試験及び目視試験などがある。

⁶ 本件原子力発電所においては, 充てん及び抽出系における1次冷却材低温側配管から再生熱交換器迄(連絡管含む)の範囲。充てん及び抽出系については, 1次冷却材の一部を1次冷却材低温側配管から抽出し, 化学体積制御設備にて, 1次冷却材の浄化等を行った後, 充てん水として1次冷却材低温側配管に戻す。その際再生熱交換器において, 抽出水により充てん水を加熱する。

の欠陥の解釈及び維持規格に基づき、非破壊試験を行い、亀裂等がないことを確認し、かかる試験により亀裂等が検出された場合は、その亀裂等が「その破壊を引き起こす亀裂その他の欠陥」に該当するか否かを評価することによって、その適合性を確認することとされている。(図4)

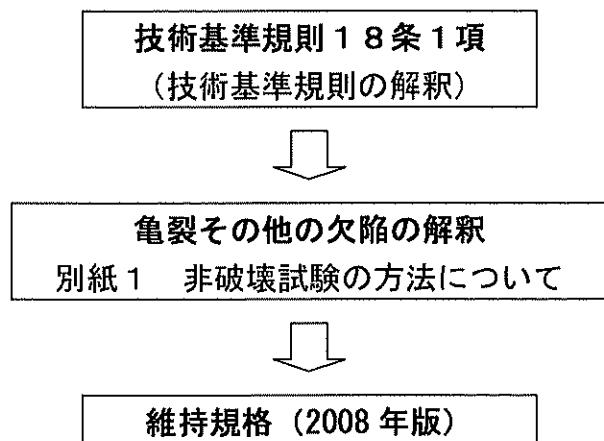


図4 技術基準規則18条1項への適合性確認の体系

相手方は、亀裂その他の欠陥の解釈に従い維持規格に従った非破壊試験を行うとともに、亀裂その他の欠陥の解釈に定める維持規格によらず非破壊試験を行う試験部位等については、その定めに従い非破壊試験を行うことで技術基準規則第18条1項への適合性を確認している【乙79、乙112、乙160、乙161】。したがって、相手方は、維持規格のみに依拠して配管の安全性を確保しているものではなく、抗告入らの主張は理由がない。

2 また、抗告入らは、維持規格が、一般社団法人日本機械学会が定めた学協会規格（民間規格）に過ぎないとして、維持規格に基づいて配管の安全性を確保することが不当であるとも主張する。

しかしながら、維持規格は、原子力安全・保安院（当時）が技術評価を行い、公開した上で【乙162】、規制上の位置づけが審査基準等で明確化された

(エンドースされた) ものである。こうした経緯を経て、現状運用されている亀裂その他の欠陥の解釈においても、維持規格に基づき非破壊試験を行うことが明記されているのであり、維持規格が学協会規格（民間規格）であることは何ら問題ではない。

3 抗告人らは、玄海 2 号機の余剰抽出配管のひび割れ事象で得られた知見が維持規格に反映されていないとして、配管の安全性に問題があるかの如く主張する。しかしながら、抗告審答弁書・53～56 頁のとおり、当該事象は設計段階の配管ルートに起因する高サイクル熱疲労割れによるもので、設計段階で防止すべきものであり、そもそも配管の点検方法等を定める維持規格に反映する必要はなく、当該事象の原因である高サイクル熱疲労割れの再発防止のため、「発電用原子力設備に関する技術基準を定める省令（昭和 40 年 6 月 15 日通商産業省令第 62 号）」6 条（現在の技術基準規則 19 条：流体振動等による損傷の防止）の改正等がなされており、抗告人らの主張は理由がない。

第 4 本件原子力発電所における火山に対する評価が合理的であること

相手方は、本件原子力発電所に影響を及ぼし得る火山を抽出した上で、火山活動に関し個別評価を行い、5 つのカルデラ火山⁷（阿蘇、姶良、加久藤・小林、阿多、鬼界）が本件原子力発電所の運用期間中に破局的噴火⁸を起こす可能性は極めて低く、火山事象が本件原子力発電所の安全性に影響を及ぼす可能性は極めて低いことを確認している。また、5 つのカルデラ火山については火山活動のモニタリングを実施し、顕著な変化が生じた場合には、第三者（火山専門家等）の助言を得た上で破局的噴火への発展の可能性を評価し、破局的噴火への発展の可能性が少しでもある場合には原子炉の停止・燃料体等の搬出等を行うこととしている。

⁷ カルデラ火山：通常の火口（直径 2km 未満）より、はるかに大きな陥没地形（直径 2km 以上）をカルデラといい、カルデラの陥没は大規模なマグマの噴出や、地下でマグマ溜まりからマグマが移動することにより生ずると考えられている。

⁸ 破局的噴火：100km³ 以上の噴出物を伴う噴火。

したがって、本件原子力発電所において、火山事象によって放射性物質の大量放出事故が発生する具体的危険性はないが、本書面では、相手方が行った火山に対する評価【乙163】について詳細な説明を行う。

1 火山影響評価の概要

火山影響評価について、相手方が行った評価の流れの概要は以下のとおりである。

立地評価では、まず本件原子力発電所に影響を及ぼし得る火山の抽出を行い、影響を及ぼし得る火山が抽出された場合は、当該火山の火山活動に関する個別評価、すなわち設計対応不可能な火山事象（火碎物密度流、溶岩流、岩屑なだれ・地滑り及び斜面崩壊、新しい火道の開通及び地殻変動の5事象）が本件原子力発電所の運用期間中に影響を及ぼす可能性の評価を行う。

影響を及ぼす可能性が十分小さいと評価された場合は、火山活動のモニタリングと火山活動の兆候把握時の対応を適切に行うことを条件として、個々の火山事象に対する影響評価を行う。一方、影響を及ぼす可能性が十分小さいと評価できない場合には、本件原子力発電所の立地は不適となる。

また、影響を及ぼす可能性が十分小さいと評価された場合の影響評価においては、個々の火山事象への設計対応及び運転対応の妥当性について評価を行う。

2 本件原子力発電所に影響を及ぼし得る火山の抽出

（1）相手方による調査内容

相手方は、本件原子力発電所敷地に影響を及ぼす可能性がある火山について、その活動性及び影響範囲を把握するため、文献調査、地形・地質調査及び地球物理学的調査を行った。

ア 文献調査

第四紀火山（約258万年前から現在までに活動した火山）の位置、活動年代及び噴出物の分布について、地質調査総合センター編の「日本の火山（第3版）」【乙164】、町田・新井編の「新編 火山灰アトラス」（2011）【乙165】

等の各種文献を基に調査を行った。

イ 地形・地質調査

地形調査では、主に国土地理院で撮影された縮尺4万分の1、2万分の1及び1万分の1の空中写真並びに同院発行の縮尺5万分の1及び2万5千分の1の地形図を使用して、空中写真判読等を実施し、敷地を中心とする半径30kmの範囲及びその周辺地域において、第四紀火山の可能性がある地形を抽出した。

地質調査では、自然的立地条件のうち、地盤における調査に加え、第四紀火山の噴出物を対象に地表踏査等を実施し、敷地を中心とする半径30kmの範囲及びその周辺地域において、第四紀火山の活動年代、噴出物の分布等を把握した。

ウ 地球物理学的調査

地球物理学的調査では、地震活動、地殻変動等に関する検討を実施し、マグマ溜まりの規模、位置等を把握した。

(2) 相手方による調査結果

以上の調査により相手方は、第四紀火山の噴出物の分布等を把握して、地理的領域（半径160kmの範囲）⁹に存在し過去に破局的噴火を発生した阿蘇カルデラを含む49火山を抽出した。また、地理的領域外に存在するカルデラ火山のうち、九州において、過去に破局的噴火を発生した4つのカルデラ火山も抽出したうえで、これら53火山について将来の活動可能性を評価し、将来の活動可能性が否定できない火山として、5つのカルデラ

⁹ 地理的領域（半径160kmの範囲）：火山ガイドによると、地理的領域とは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し、原子力発電所から半径160kmの範囲の領域とするとされている。発電用軽水炉型原子炉の新安全基準に関する検討チームは、わが国における第四紀火山の火山噴出物の既往最大到達距離（阿蘇4火碎流堆積物の到達距離155km）を参考に160kmと設定した。

火山（阿蘇，姶良，加久藤・小林，阿多，鬼界）を含む 21 火山（5 つのカルデラ火山以外に壱岐火山群，多良岳，小値賀島火山群，雲仙岳，南島原，金峰山，万年山火山群，船野山，涌蓋火山群，福江火山群，九重山，立石火山群，野稻火山群，由布岳，高平火山群，鶴見岳）を抽出した【乙 166（3～8 頁）】（表 1）。

表1 地理的領域の検討対象火山の活動年代と敷地からの距離

| 火 山 名* | | 活動期間もしくは最新の活動時期※ 〔 〕内は自社測定結果を踏まえた活動期間) | 敷地から の距離 (km) |
|--------|-------------|---|---------------------|
| 1 | 加 唐 島 | 2. 6-2. 5Ma | 9 |
| 2 | 壱岐火山群 | 2. 5-0. 6Ma (火山群としては 4. 3Ma 以降) | 28 |
| 3 | 有 田 | 2. 5-2. 0Ma | 34 |
| 4 | 黒 瀬 | 1. 1Ma | 42 |
| 5 | 佐世保火山群 | 2. 6-1. 9Ma | 45 |
| 6 | 弘 法 岳 | 2. 3-2. 2Ma | 46 |
| 7 | 虚空蔵山 | 2. 5-2. 2Ma | 48 |
| 8 | 多 良 岳 | 1. 3-0. 4Ma | 63 |
| 9 | 宇 久 島 | 1. 3-1. 1Ma | 73 |
| 10 | 小値賀島火山群 | 1. 1-0. 3Ma | 77 |
| 11 | 有 喜 | 2. 4-1. 3Ma | 81 |
| 12 | 牧 島 | 2. 8-2. 3Ma | 86 |
| 13 | 曾 根 | 0. 19Ma | 87 |
| 14 | 日向神火山群 | 2. 8-2. 6Ma | 94 |
| 15 | 雲 仙 岳 | 0. 5Ma 以降, 最新噴火:AD1995 | 94 |
| 16 | 道 伯・妙 見 | 2. 7-2. 4Ma | 95 |
| 17 | 南 島 原 | 1. 4-0. 5Ma | 103 |
| 18 | 金 峰 山 | 1. 4-0. 2Ma | 108 |
| 19 | 下関火山群 | 1. 2Ma | 108 |
| 20 | 渡 神 岳 | 2. 8-2. 1Ma | 108 |
| 21 | 月 出 山 岳 | 2. 6-2. 0Ma | 116 |
| 22 | 杖 立 火山群 | 1. 5-1. 1Ma | 116 |
| 23 | 大 岳 | 1. 5-1. 4Ma | 118 |
| 24 | 24-1 先 阿 蘇 | 0. 8-0. 4Ma | 120 |
| | 24-2 阿蘇カルデラ | 0. 27-0. 09Ma (4つの巨大噴火) | 130 |
| | 24-3 標 子 岳 | 0. 14-0. 12Ma | 141 |
| | 24-4 阿 蘇 山 | 0. 09Ma 以降, 最新噴火:AD2011 | 137 |
| 25 | 吉 ノ 本 | 2. 8-2. 5Ma | 121 |
| 26 | 赤 井 | 0. 15Ma | 123 |
| 27 | 万 年 山 火山群 | 0. 8-0. 4Ma | 124 |
| 28 | 船 野 山 | 0. 5Ma | 125 |
| 29 | 大 峰 | 0. 09Ma | 126 |
| 30 | 玖 珠 火山群 | 1. 4-1. 0Ma | 129 |
| 31 | 涌 蓋 火山群 | 1. 0-0. 4Ma | 130 |
| 32 | 小 松 台 火山群 | 1. 7-1. 1Ma | 131 |
| 33 | 福 江 火山群 | 0. 8Ma 以降, 最新噴火:2, 400 年前 | 133 |
| 34 | 猪 牛 田 カルデラ | 1. 0-0. 85Ma | 134 |
| 35 | 人 見 岳 | 2. 4-1. 9Ma | 137 |
| 36 | カ ル ト 山 火山群 | 1. 4-1. 0Ma | 138 |
| 37 | 九 重 山 | 0. 2Ma 以降, 最新噴火:AD1996 | 140 |
| 38 | 立 石 火山群 | 0. 6-0. 2Ma | 140 |
| 39 | 大 蔵 山 | 0. 8Ma | 143 |
| 40 | 野 稲 火山群 | 0. 6-0. 3Ma | 143 |
| 41 | 雨 乞 火山群 | 0. 6-0. 4Ma | 146 |
| 42 | 由 布 岳 | 0. 09Ma より新しい, 最新噴火:2, 000~1, 900 年前 | 147 |
| 43 | 時 山 火山群 | 0. 9-0. 6Ma | 147 |
| 44 | 荻 岳 | 0. 1Ma より古い | 147 |
| 45 | 高 平 火山群 | 0. 5-0. 15Ma | 148 |
| 46 | 鶴 見 岳 | 0. 09Ma より新しい, 最新噴火:AD867 | 150 |
| 47 | 長 島 | 3. 7-2. 5Ma 「3. 7-2. 2Ma」 | 152 |
| 48 | 庄 内 火山群 | 2. 0-1. 3Ma | 152 |
| 49 | 鹿 鳴 越 火山群 | 1. 1-0. 6Ma | 155 |

※ 地質調査総合センター編「日本の火山(第3版)」(2013)及び地質調査総合センター編「日本の火山」(2016)による

3 本件原子力発電所の運用期間中における火山活動に関する個別評価

(1) 評価の概要

上記「2 本件原子力発電所に影響を及ぼし得る火山の抽出」で抽出した 21 火山のうち、過去に破局的噴火を発生させた 5 つのカルデラ火山については、後記（2）及び（3）で述べるとおり、運用期間中における破局的噴火の可能性が極めて低いことが確認されたため、現在の噴火ステージ（後述）における既往最大規模の噴火を考慮し、本件原子力発電所への影響を評価した。

また、その他の 16 火山については、各火山の既往最大規模の噴火を考慮し、本件原子力発電所への影響を評価した【乙 139-11 (63~66 頁)】。

(2) 5 つのカルデラ火山の破局的噴火の可能性の評価

ア 破局的噴火とは

火山爆発指数 (VEI) は、噴出物量に応じて「0」(噴出物量が $1 \times 10^5 \text{ km}^3$ 未満) から「8」($1 \times 10^3 \text{ km}^3$ 以上) までの数字で分類するものであるが、破局的噴火は、VEI 7 以上の噴火であり（表 2）、 100 km^3 以上の噴出物を伴う噴火をいう（図 5）。

表 2 火山爆発指数(VEI)の定義

| VEI | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
|------------------------------|----------------------|--------------------|------------------|---------------|--------------|----------------|------------------|-------|
| 噴出物総体積 (km ³) | 0.0001 ~ 0.001 | 0.001 ~ 0.01 | 0.01 ~ 0.1 | 0.1 ~ 1 | 1 ~ 10 | 10 ~ 100 | 100 ~ 1000 | 1000~ |
| 噴煙柱高度 (km) | 0.1~1 | 1~5 | 3~15 | 10~25 | >25 | | | |
| | 小噴火 | 中噴火 | 大噴火 | ——巨大噴火—— | 破局的噴火 | | | |
| | | | 爆発的噴火 | | | | | → |

※ 町田・新井（2011）から一部抽出【乙 165】。噴出物総体積は噴出物量のこと。



図5 破局的噴火の噴火規模

破局的噴火は、日本列島のカルデラ火山において数万年から十数万年に1回程度という極めて低い頻度で発生する火山事象である。

例えば1991年の雲仙普賢岳の噴火(死者・行方不明者43名)はVEI 1, 2011年の霧島新燃岳の噴火(前年から立入規制。死傷者なし)はVEI 3, 2014年の御嶽山の噴火(死者57名)はVEI 1～2であり、破局的噴火は、これらの噴火の数千倍～数十万倍以上の超巨大な噴火である。

仮に現時点において阿蘇カルデラで破局的噴火が起きた場合、九州の中部以北は火碎流の直撃でほぼ全滅して死者が1,000万人を超え、北海道を含む日本列島全体が15cm以上の厚い火山灰で一面に覆われて、家屋の倒壊が相次ぎ、ライフラインが機能停止し、食糧生産も不可能となって飢餓状態になり、かろうじて生き残った人々も火山灰に覆われた日本列島から海外への避難・移住が必要となると言われる【乙167】。

実際に発生した破局的噴火の記録を見ても、例えば7,300年前の鬼界カルデラにおけるアカホヤ噴火では、巨大火碎流は薩摩・大隅半島、種子島、屋久島を覆い、火山灰は偏西風により東日本まで運ばれて、南九州の縄文文化と自然環境に壊滅的なダメージを与えるとともに、西日本から東日本にかけても降灰による甚大な影響を及ぼしたと考えられる。また、海底での大規模な陥没や火碎流の海への流入により、巨大な津波が発生したと推定され、津波は薩摩半島沿岸で波高30mの規模に達したと考えられる【乙168(60頁), 乙169】。

相手方は上記 21 火山のうち、阿蘇カルデラを含む 5 つのカルデラ火山（阿蘇、姶良、加久藤・小林、阿多、鬼界）に関しては、このような壊滅的な被害をもたらす破局的噴火が運用期間中に発生する可能性について、後述するカルデラ火山の「イ 噴火間隔」、「ウ 噴火ステージ」、「エ マグマ溜まりの状況」の 3 つの観点から総合的に評価を行った。

イ 噴火間隔

上述のとおり破局的噴火は極めて大規模な噴火であり、地下のマグマ溜まりに大量のマグマが蓄積されることが必要である。

相手方は、噴火間隔について、各カルデラ火山における破局的噴火の噴火間隔と最新の破局的噴火からの経過時間との比較により、破局的噴火に必要な大量のマグマが蓄積されるために必要な時間が経過しているかを検討した（図 6）。

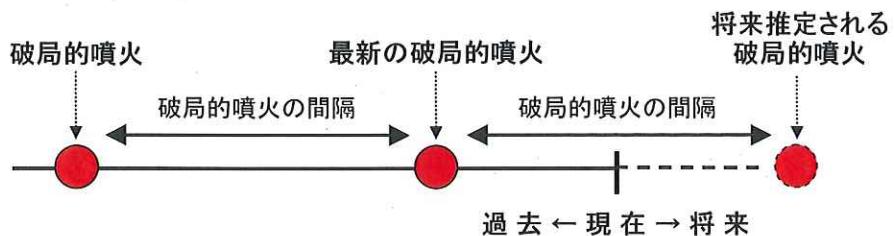


図 6 噴火間隔

【図 6 の説明：「破局的噴火の間隔」と、「最新の破局的噴火」から「現在」までの経過時間を比較し、破局的噴火に必要な大量のマグマが蓄積されるために必要な時間が経過しているかを検討する。】

ウ 噴火ステージ

(ア) 噴火ステージは、過去の噴火活動から活動期を分類するものであり、ハザードマップ¹⁰の作成にも用いられるなど、対象とすべき火山の活動時期、噴火規模等を想定する考え方の一つである。

例えば、富士山の事例では、ハザードマップ作成において、約1万年前以降の噴火を対象に、噴火口の位置や噴出物の種類等から、富士山の噴火活動を5つの活動期（噴火ステージ）に分類している。

(イ) Nagaoka (1988) は、詳細な地質調査（テフラ¹¹の対比等）に基づき、始良カルデラ、阿多カルデラ及び鬼界カルデラの噴火史を明らかにし、噴火ステージに関する総合的な検討を行った論文であり、破局的噴火に先行してプリニー式噴火（長い休止期の後に起こる極めて激しい爆発的噴火）が随所で間欠的に発生する「プリニー式噴火ステージ」、破局的噴火が発生する「破局的噴火ステージ」、破局的噴火後の残存マグマによる火碎流を噴出する「中規模火碎流噴火ステージ」及び多様な噴火様式の小規模噴火が発生する「後カルデラ火山噴火¹²ステージ」の4つの噴火ステージが周期的に発生するとしている（図7）【乙170（105～117頁）】。

¹⁰ ハザードマップ：津波、地震、火山、風水害等の自然災害による被害を予測し、その被害範囲を地図に示したもの。必要に応じて、予測される災害の発生地点、被害の範囲及び被害程度、さらには避難経路、避難場所などの防災情報を地図上に図示している。

¹¹ テフラ：噴火の際に火口から放出され、空中を飛行して地表に堆積した火山碎屑物の総称。

¹² 後カルデラ火山噴火：破局的噴火後（カルデラ形成後）の火山活動による小規模な噴火のこと。



図7 Nagaoka (1988) による噴火ステージの区分

プリニー式噴火が破局的噴火に先行するという特徴は、他の文献においても示されており【姶良カルデラについて、乙171(271~272頁)。鬼界カルデラについて、乙172(59頁)】、多くのカルデラ噴火(カルデラを形成するような巨大な噴火)で見られる特徴である。

プリニー式噴火ステージの継続期間は、姶良カルデラの例では約6万年、阿多カルデラの例では約4万年であり、いずれも数万年に及ぶ。

エ マグマ溜まりの状況

(ア) マグマ溜まりとは、地下深部から上昇してきたマグマが地殻の浅所で一時的に蓄えられたものである。

マグマは、珪素の量(SiO_2 : 硅素の量が少ないほど密度が高く、粘り気が低い)が少ない順に、玄武岩質、安山岩質、デイサイト質、流紋岩質の4つに分類され(図8)，破局的噴火を発生させるのは、流紋岩質のような珪長質の大規模なマグマ溜まりである【乙173(9頁)】。

| マグマ の種類 | 玄武岩質 | 安山岩質 | デイサイト質 | 流紋岩質 |
|--------------------------|-----------|---------|--------|------|
| マグマ の性質 | ←苦鉄質 珪長質→ | | | |
| SiO ₂ (wt. %) | 45~53.5 | 53.5~62 | 62~70 | 70以上 |
| 密度 (kg/m ³) | 2700 | 2400 | 2300 | 2200 |

図8 マグマの SiO₂ と密度(【乙 174 (72 頁)】を基に作成)

(イ) マグマ溜まりは、時間と共に各マグマの密度に応じた浮力中立点(珪長質マグマ(図8におけるSiO₂濃度62wt%以上のマグマ)は地下深さ7km以浅)へと移っていく傾向があるとされる(図9)【乙 175 (723 頁)】。

そして、破局的噴火を起こしうる大規模な珪長質のマグマ溜まりを形成するためには、珪長質マグマを地表に噴出させずにマグマ溜まりに安定して存在させる必要があり、そのためにはマグマが浮力を失つて浮力中立になる深度で滞留する必要があるところ、上述のとおり、珪長質マグマの浮力中立点は地下深さ約7km以浅であり、地下深さ10kmよりも十分に浅い。

従って、破局的噴火が発生するためには、地下深さ10kmよりも十分浅い位置に、大規模な珪長質のマグマ溜まりが存在することが必要であると考えられ(図10)，このことは、以下のとおり、多くの知見及び実例により裏付けられている。

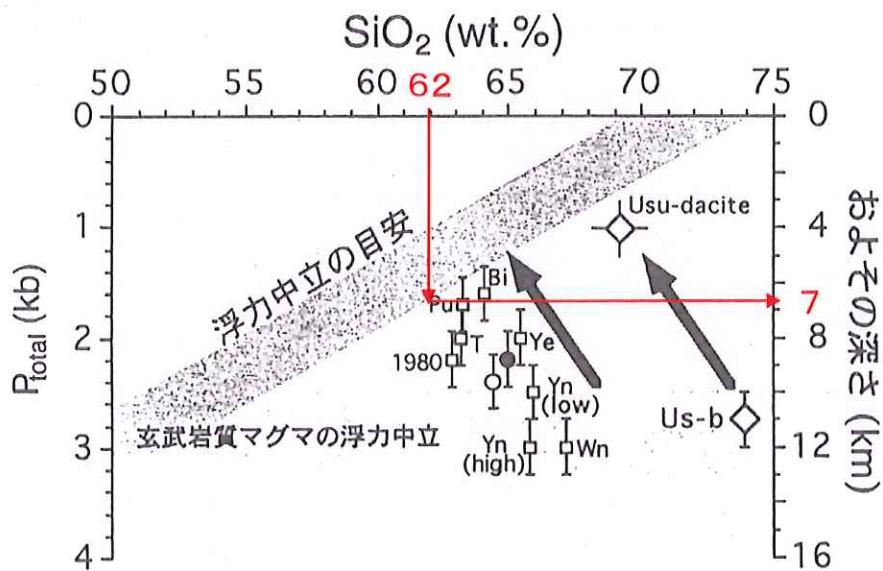


図9 マグマの組成 (SiO_2) と深度の関係

【図9の説明：マグマ溜まりの「およその深さ」（縦右軸）と「 SiO_2 （マグマの珪素の量）」（横軸）との関係を示したものである。地殻は深くなるほど密度が高くなり、マグマは周囲の地殻と密度が釣り合う深度（浮力中立点）まで上昇し、マグマ溜まりを形成する。図8のとおり、珪長質マグマ（デイサイト質～流紋岩質）の SiO_2 は 62% 以上であることから、図9において、マグマ溜まりは 7km より浅い深度で形成されることが分かる。】

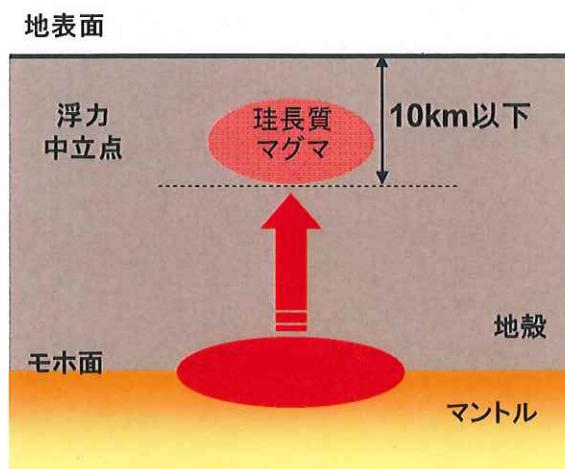


図10 大規模なマグマ溜まりのイメージ

① 荒巻（2003）【乙173】

荒巻（2003）は、破局的噴火に関して、地殻下部で発生した珪長質マグマが、上昇して地殻上部（深さ10～数km）に達し、マグマ溜まりを形成すること、多くのマグマ溜まりの天井が極めて浅いところにあり、マグマ溜まりは扁平状であることを指摘している。

② 鍵山編（2003）【乙176】

鍵山編（2003）は、マグマが地殻浅部（通常は深さ10kmから3km程度）で蓄積され、噴火のために待機していること、マグマはある深さで浮力を失って上昇をやめ、新たなマグマ溜まりをつくること、短時間に大量の火碎流が火山から放出されることや大きな陥没カルデラが存在することが地殻浅部に大量のマグマが蓄積されていたことの証拠であることを述べている【乙176（13頁）】。

③ 東宮（1997）【乙175】

東宮（1997）は、珪長質マグマ溜まりが自身の浮力中立点に相当する浅所へ移ることを述べ、珪長質マグマの浮力中立の目安が深さ7km以浅であることを示している。

すなわち、同論文は、過去の噴火の噴出物を基にして、実験岩石的な手法（高温高圧下における岩石融解実験）によって、マグマの組成とマグマ溜まりの深さの関係を分析したものであるが、その結果を踏まえて、「生成された珪長質マグマが、時間の経過によって、玄武岩質マグマの浮力中立点から、珪長質マグマ自身の浮力中立点に相当する浅所へ移る」旨を述べている【乙175（723頁）】。

④ 下司（2016）【乙177】

下司（2016）は、破局的噴火を発生させるために、珪長質の巨大

なマグマ溜まりが、密度中立深度（深さ数 km 程度の浅所）に形成され滞留する必要があることについて、端的に述べている。

すなわち、同論文は、従来の知見を踏まえて、破局的噴火に関するマグマの蓄積過程と噴出過程について論じたものであるが、破局的噴火を起こし得るマグマ溜まりの形成及び維持に関して、「大規模噴火を発生させるためには、地殻内部に巨大なマグマ溜まりを形成する必要がある」、「巨大なマグマ溜まりを形成するためには、マグマを地表に噴出させずにマグマ溜まりに安定して存在させ、溶融状態のまま蓄積できる状態でなければならない」、「大規模なマグマ溜まりを安定して存在させるためには、マグマが密度中立深度に貫入する必要がある」、「大規模噴火の多くは流紋岩マグマが噴出していることから、深さ数 km 程度の浅所に貫入している」、「珪長質メルトの密度はほとんどの深さで地殻岩石よりも小さいため、上部～中部で生産された珪長質マグマは浮力で上昇し、密度中立になる上部地殻内で滞留する」と述べている【乙 177 (104 頁, 106 頁)】。

⑤ 吉田ほか (2017) 【乙 178】

吉田ほか (2017) は、現在の火山学における一般的な知見をまとめたものであるが、マグマの上昇やマグマ溜まりに関して、マグマはまわりの岩石より密度が小さく、液体であるため移動しやすく、浮力によって上昇すること、(マグマの組成に応じた浮力中立点に関する東宮 (1997) の図【乙 175 (723 頁)】を引用して) マグマにはその密度に応じた浮力中立点があること【乙 178 (16～18 頁)】、地殻中を上昇してきたマグマは浮力中立点に到達して上昇を停止すること、浮力を失ったマグマはそこに滞留してマグマ溜まりを形成すること、地殻上部に形成されたマグマ溜まりに地下深部からマグマの供給が続くと、ときに直径 10km を超えるマグマ溜まりが形成されること

【同・23頁】について述べている。

⑥ 安田ほか（2015）【乙179】

安田ほか（2015）は、姶良カルデラにおける約3万年前の破局的噴火に関して、最新の熱力学温度圧力計を使用するとともに、その他の複数の手法により噴出物の組成分析を行い、同噴火のマグマ溜まりの深度について述べたものであるが、マグマ溜まりの上部が深さ4～5km程度の地殻浅部にまで広がっていたことを明らかにしている【乙179（395頁）】。

⑦ 篠原ほか（2008）【乙180】

篠原ほか（2008）は、薩摩硫黄島に関する地質・地球物理・地球化学データをまとめ、薩摩硫黄島の火山現象モデルを提示するものであるが、鬼界カルデラにおける約7,300年前の破局的噴火について、噴火直前に、深さ3～7kmにかけて、巨大な流紋岩マグマ溜まりが存在したことを明らかにしている【乙180（3枚目）】。

⑧ 高橋（2014）【乙181】

高橋（2014）は、約2万6,000年前の破局的噴火であるOruanui噴火について、深さ6～12kmにあった超巨大マグマ溜りから流紋岩質マグマが絞り出されて、深さ3.5km～6kmにある浅所巨大マグマ溜まりに1,000年～数100年かけて移動してその後噴火したことについて述べている。

以上より、相手方は破局的噴火を起こす可能性の評価において、破局的噴火を起こし得るマグマ溜まりの有無、すなわち、地下深さ10kmよりも十分浅い位置に大規模な珪長質のマグマ溜まりが存在するか否

かの評価が極めて重要であると考え、深さ約10km以浅の大規模なマグマ溜まりの有無を検討した。

(ウ) また、Druitt et al. (2012) によると、ミノア噴火に関する結晶の成長に関する分析から、破局的噴火直前の100年程度の間に急激にマグマが供給されたと推定されている【乙182(77頁)】。

したがって、破局的噴火の前にはマグマ溜まりに顕著な増大があると考えられる。マグマ溜まりの規模の変化は、カルデラ火山の基線長変化¹³から推定できるため、相手方は、基線長変化を分析して、マグマ溜まりの増大の有無を検討した。

(3) 阿蘇カルデラの個別評価

ア 阿蘇カルデラの噴火間隔について

阿蘇カルデラの噴火間隔については、図11に示すとおり、破局的噴火の最短の噴火間隔は約2万年、平均発生間隔が約5.3万年であることに対し、現在は直近の破局的噴火からの経過時間が約9万年であることから、破局的噴火のマグマ溜まりを形成している可能性や破局的噴火を発生させる供給系ではなくなっている可能性等が考えられる。相手方は、この点につき噴火間隔だけでなく、後記「イ 阿蘇カルデラの噴火ステージ」及び「ウ 阿蘇カルデラのマグマ溜まりの状況」も踏まえ、破局的噴火のマグマ溜まりを形成している可能性は極めて低いと総合的に判断した。

¹³ 基線長変化：カルデラを横断して設置した観測点(GPS)間の水平距離の伸び縮みのこと。マグマ溜まりによる地下の圧力の増減に伴って、地盤の伸び縮みが発生する。

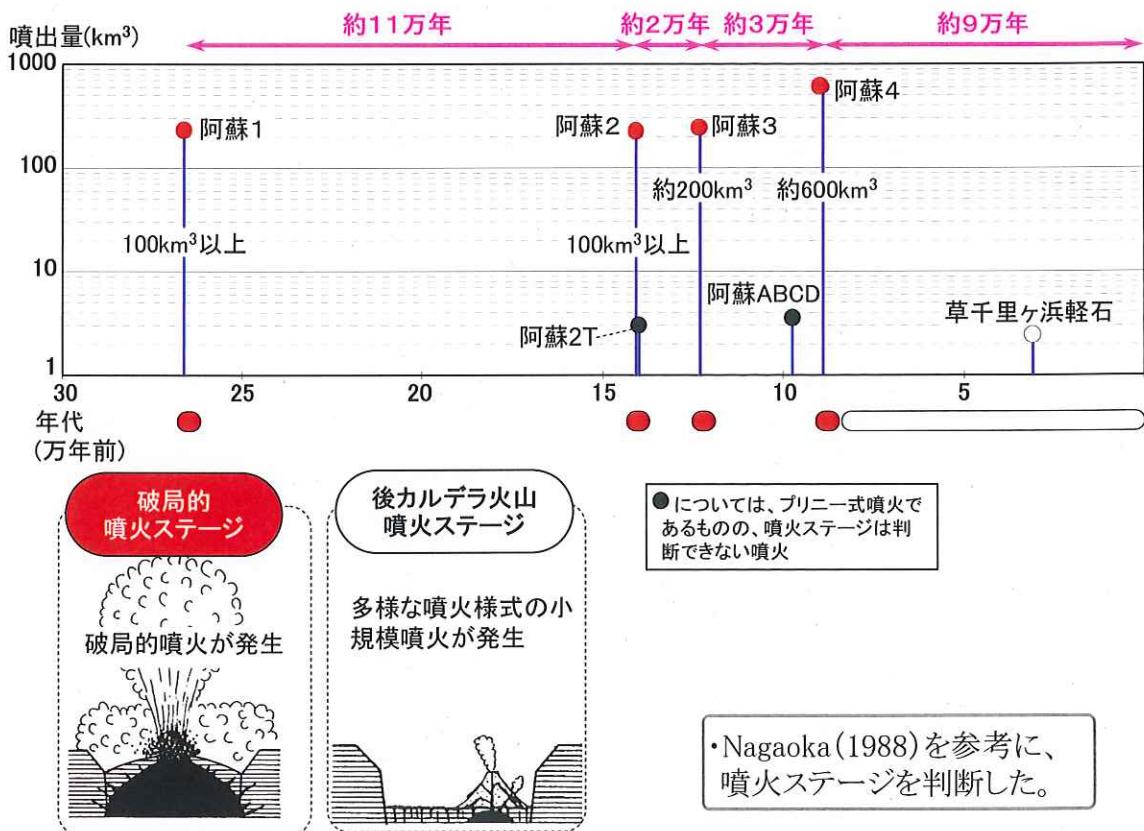


図 1 1 阿蘇カルデラの噴火履歴

イ 阿蘇カルデラの噴火ステージについて

阿蘇カルデラの噴火ステージについて、現在の阿蘇カルデラにおける噴火活動は、約9万年前の最後の破局的噴火以降、阿蘇山においては玄武岩から流紋岩まで多様なマグマが噴出しているが、いずれも比較的静穏な活動であり【乙 183 (269~270 頁), 乙 184】、プリニー式噴火が間欠的に発生しているものではないため、後カルデラ火山噴火ステージにあると考えられ、「ア 阿蘇カルデラの噴火間隔」及び後記「ウ 阿蘇カルデラのマグマ溜まりの状況」も踏まえ、本件原子力発電所の運用期間中に破局的噴火が起こる可能性は極めて低いと総合的に判断した。

ウ 阿蘇カルデラのマグマ溜まりの状況について

阿蘇カルデラにおけるマグマ溜まりの状況については、以下に挙げるような知見・研究がある。

① Sudo and Kong (2001) 【乙 185】

Sudo and Kong (2001) は、地球物理学的手法の1つである地震波トモグラフィの解析結果（図12）から、地下 6km に低速度領域が認められ、中央火口丘群（中岳ほか）及び活動的なマグマ供給系に関連すること（つまりマグマ溜まりである可能性があること）を指摘している。

② 三好ほか (2005) 【乙 183】

三好ほか (2005) は、阿蘇カルデラ形成後の火山噴出物について岩石学的見地から検討を行い、噴出物の分布状況（図13）からマグマ供給系について考察を行ったものであるが、後カルデラ形成期では、苦鉄質火山噴出物の供給火口がカルデラ中央部に分布し、その周囲により珪長質な火山噴出物の給源火口が分布する傾向があることを明らかにした上で、仮にカルデラ直下に大規模な珪長質マグマ溜まりが存在する場合には、中央部でより珪長質、その周囲で苦鉄質になる（阿蘇の場合と逆になる）と考えられることから、カルデラ形成期のような単一大規模マグマ溜まりは存在せず、小規模な複数のマグマ溜まりが存在すると考えられる旨の知見を示している【乙 184(282~283頁)】。

③ 三好 (2012) 【乙 186】

三好 (2012) は、阿蘇カルデラ形成後の火山噴出物について、年代測定及び化学組成分析を行ったものであるが、それらの結果から、珪長質マグマの活動は 3 万年前～2 万年前の最盛期を境に減少し、過去 1 万年間にはほとんど玄武岩マグマのみが活動しており、珪長質マグマの噴出は起こっていない、現在活動中の中岳へマグマを供給しているマグマ溜まり (Sudo and Kong (2001)) に蓄積されているのは玄武岩

マグマと考えられるため、少なくとも現在のカルデラ直下の地殻浅部には、カルデラ形成噴火時のような大規模珪長質マグマは蓄積されていないと考えられる旨の知見を示している【乙 186 (6・5, 6・14~6・15)】。

④ 高倉ほか (2000) 【乙 187】

高倉ほか (2000) は、阿蘇カルデラの深部構造の把握を目的に、阿蘇カルデラを横切る 2 本の測線における MT 法調査を実施し、その調査結果から得られた阿蘇カルデラ地下の比抵抗断面について解析したものであるが、図 14 に示すとおり比抵抗構造解析結果において、阿蘇カルデラの地下 10km 以浅に大きな低比抵抗領域（マグマ溜まりと考えられる）は認められないとしている【乙 187 (26 頁)】。

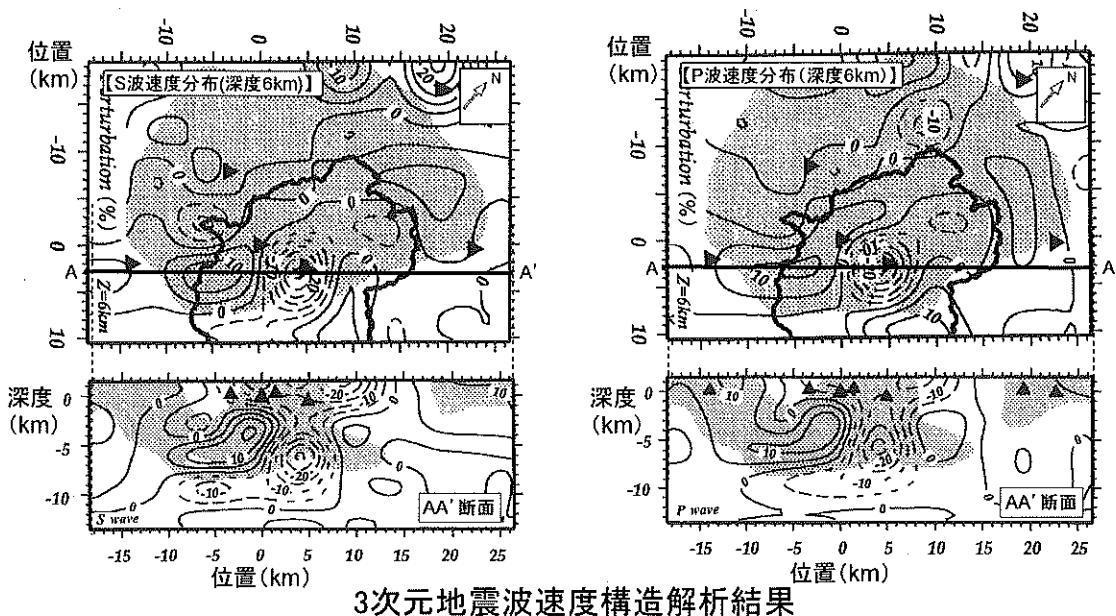
⑤ 大倉 (2017) 【乙 188】

大倉 (2017) は、測地学的手法による観測によって得られた阿蘇カルデラの地殻変動のデータを基に、阿蘇カルデラのマグマ溜まりの状態について分析した最新の知見である。

大倉教授は、この中で、阿蘇カルデラの地下約 6km 付近にマグマ溜まりが存在し、また、地下約 15km にもマグマ溜まりと考えられる変動源が存在することを指摘している。その上で、地下約 6km 付近のマグマ溜まりは全体として縮小傾向にあり、長期間の水準測量データを踏まえると、1930 年代と比べて約 1000 万 m³ (0.01km³) 少なくなっていること、地下約 15km の変動源は最大で 45km³ のマグマの一部分であることから、今後の阿蘇の火山活動は 1930 年代のような大規模なものではなく、ましてや大規模なカルデラ噴火が起こるような状態ではないと推定される旨の知見を示している【乙 188 (28 頁)】。

さらに、図 15 のとおり、国土地理院による電子基準点の解析結果によると、大きな基線長の変化はなく、マグマ溜まりの顕著な増大は認められない。

以上の知見・研究により、相手方は、阿蘇カルデラの地下 10km 以浅に破局的噴火を起こすような大規模な珪長質マグマ溜まりは存在せず、破局的噴火直前の状態ではなく、本件原子力発電所の運用期間中に破局的噴火が起こる可能性は極めて低いと判断した。



[3次元地震波速度構造解析]
地表上に設置された各地震計が測定した地震データを解析することによって、地球内部の3次元速度構造を求める手法のことである。固体の岩石とマグマの間では、弾性波速度に大きな差があるため、地震波速度の小さい領域からマグマ溜まりを推定することができる。

- Sudo and Kong (2001)によると、阿蘇カルデラを対象とした地震波トモグラフィを実施した結果、中央火口丘群直下の深さ6kmに低速度領域が認められるとしている。

図 1-2 阿蘇カルデラにおける地下構造 (Sudo and Kong, 2001)

【図 1-2 の説明：阿蘇カルデラ周辺における 3 次元地震波速度構造解析により、マグマの存在を示唆する低速度領域を示したものである。左図が S 波（横波）速度分布、右図が P 波（縦波）速度分布である（いずれも上段の図が深さ 6km の平面図、下段の図が A-A' 断面図であり、図中の数値は速度の平均値からのずれを表している）ところ、地下 6km に低速度領域が認められる。なお、地表近くにある低速度領域は地下水溜まりであると考えられる。】

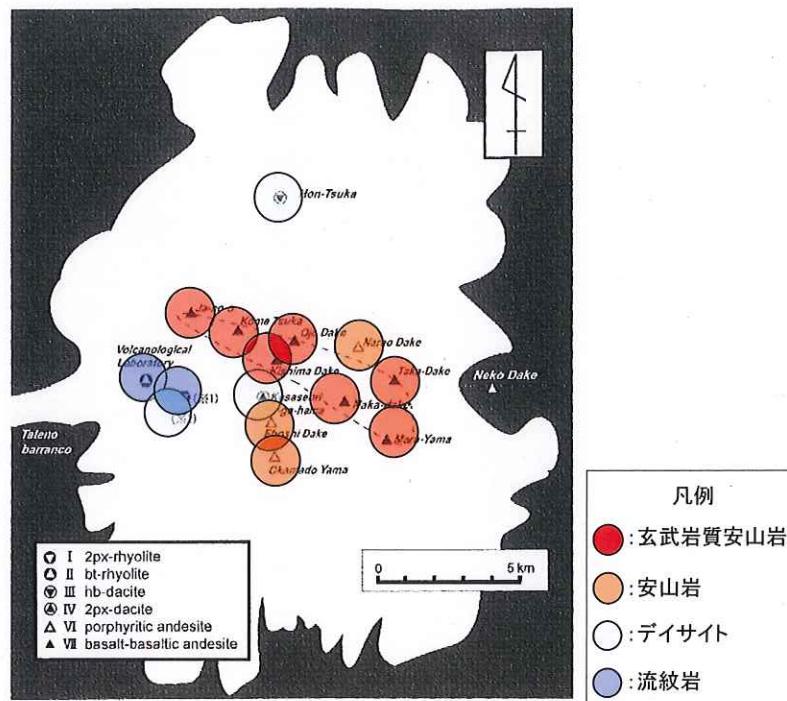
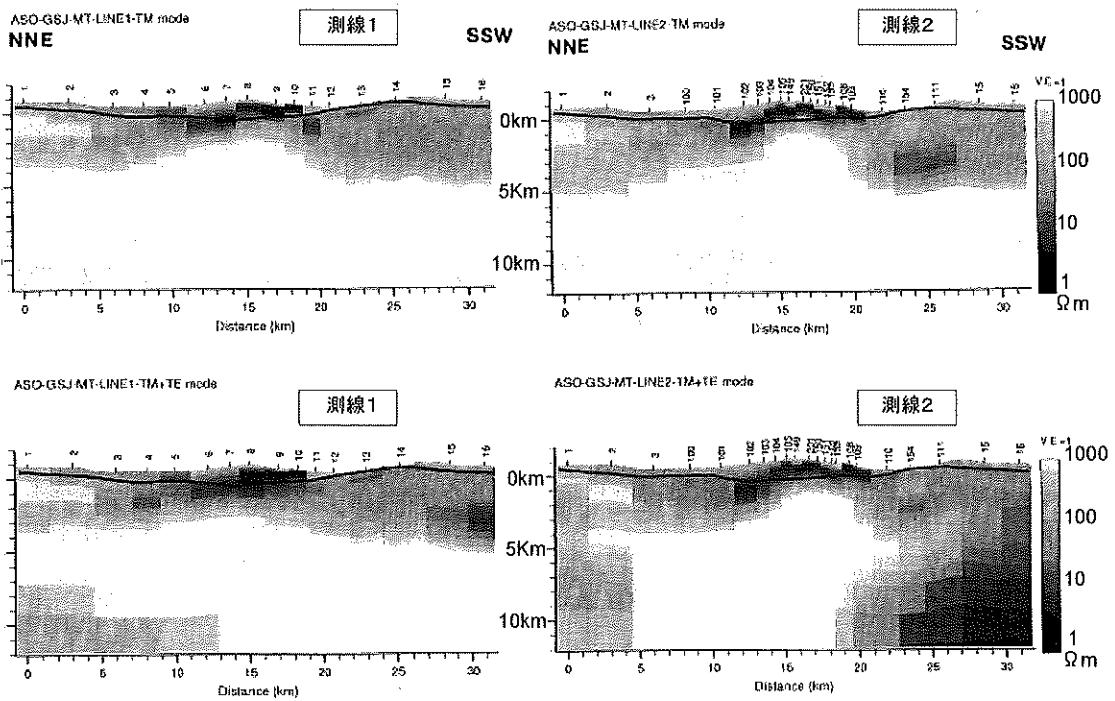
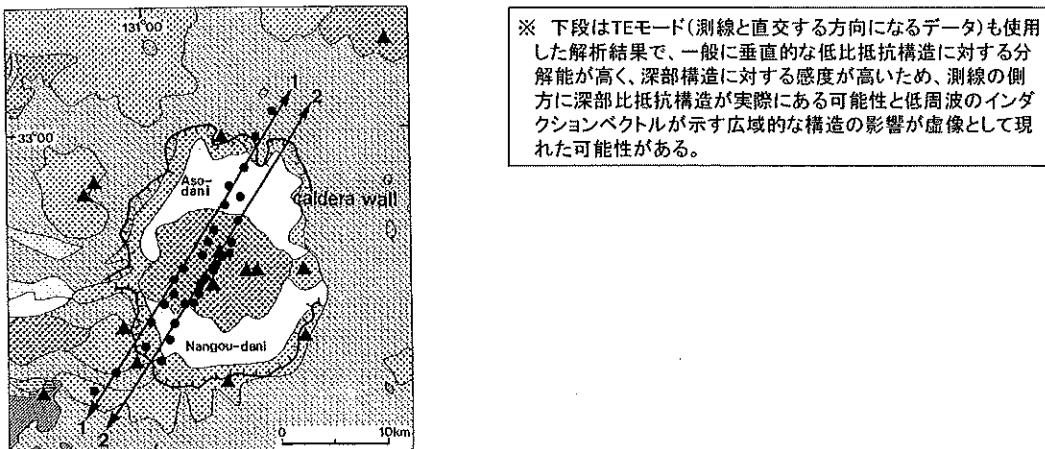


図13 阿蘇カルデラにおける大規模マグマ溜まりの存否（三好ほか, 2005）

【図13の説明：後カルデラ火山である阿蘇山において、現在地表で確認することが出来る火口の位置と噴出物の種類を示したものであり、苦鉄質火山噴出物の供給火口がカルデラ中央部に分布し、その周囲に、より珪長質な火山噴出物の給源火口が分布している。苦鉄質マグマは珪長質マグマよりも深部に位置するところ、苦鉄質マグマの上方に珪長質の大規模なマグマ溜まりが存在する場合には、図13のように苦鉄質火山噴出物がカルデラ中央部に分布することは考えられず(密度の高い苦鉄質マグマは、密度の低い珪長質のマグマ溜まり内を上昇できないと考えられるため)、珪長質の大規模なマグマ溜まりは存在しないと考えられる。】



比抵抗構造解析結果(上段と下段は解析方法の違い※)



測線位置

図 1-4 阿蘇カルデラにおける地下構造 (高倉ほか, 2000)

【図 1-4 の説明 : 阿蘇カルデラ周辺における地下構造調査 (MT 法) により、マグマの存在を示唆する低比抵抗領域を示したものである。黒色がより低い比抵抗領域を示すところ、高倉ほか (2000) によると、阿蘇カルデラの地下 10km 以浅には、一般にマグマあるいは溶融体と考えられる低比抵抗体は認められないとしている。】

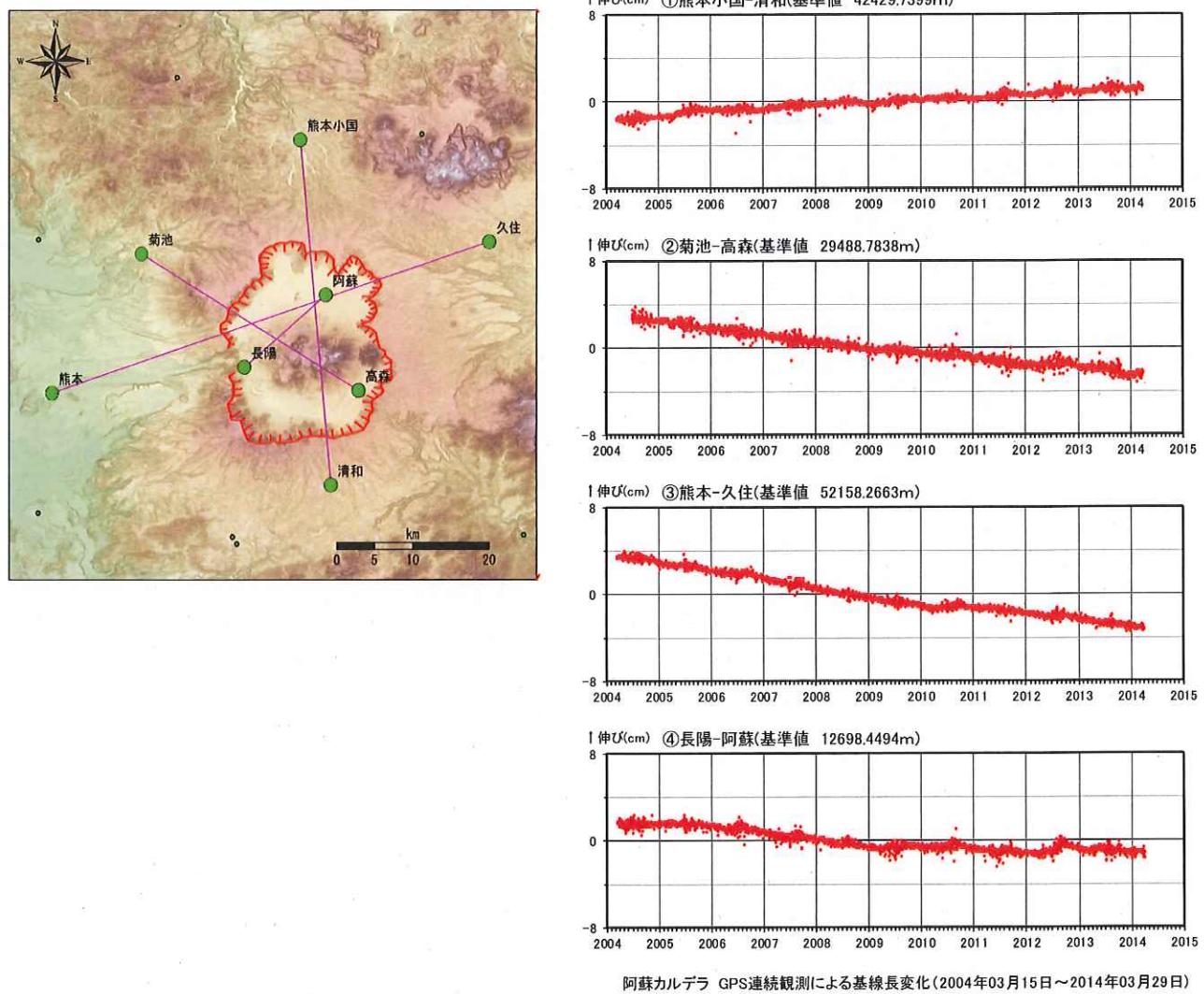


図15 阿蘇カルデラにおける地殻変動監視のためのGPS観測

【図15の説明：阿蘇カルデラを横断する2つのGPS観測点間の水平距離の伸び縮み（基線長の変化）を示したものである。カルデラ直下においてマグマの供給があつた場合には、地表の水平距離は伸びる（プラスの値）ところ、図15では大きな変化は見られない。】

エ 前兆現象に関する最新の知見である「小林（2017）」について

小林（2017）【乙 189】は、地質学的な見地からカルデラ噴火のモデル（前兆現象）を提示し、阿蘇カルデラを含む九州のカルデラ火山について考察を加えたものである。

同研究報告書は、阿蘇カルデラを含む国内及び国外のカルデラ火山において、過去のカルデラ噴火の 100 年から数 100 年以上前に溶岩を噴出する形式の噴火が発生していること【乙 189 (10~32 頁)】等から、カルデラ噴火の前兆現象として珪長質マグマの流出的噴火が発生すると考えられること、阿蘇カルデラを含む九州の 5 つのカルデラ（阿蘇、加久藤・小林、姶良、阿多、鬼界）については、鬼界カルデラ以外では過去数 100 年以内に珪長質マグマの噴火が発生していないこと（鬼界カルデラにおける 1934~1935 年の流紋岩質マグマの噴出がカルデラ噴火の前兆現象であれば、急激な地盤の上昇などが観測されるはずであるが、そのような兆候は全く観測されていないこと）から、今後の数 100 年以内にカルデラ噴火が発生することはない旨の見解を明らかにしている【乙 189 (35~36 頁)】。

このように、カルデラ噴火の前兆現象に関する最新の知見からも、「阿蘇カルデラが本件原子力発電所の運用期間中に破局的噴火を起こす可能性は極めて低い」とする相手方の評価が合理的であることが裏付けられている。

4 カルデラ火山のモニタリングについて

(1) モニタリングの概要

以上のように、本件原子力発電所の運用期間中に破局的噴火が発生する可能性は極めて低いが、姶良カルデラ、加久藤・小林カルデラ、阿多カルデラ、鬼界カルデラ及び阿蘇カルデラは、自然現象における不確かさ及び敷地への影響を考慮した上で、地殻変動や地震活動等の火山活動のモニタリングを実施している【乙 139-11 (66~67 頁)】(図 1-6)。

このモニタリングは、その時々において破局的噴火が発生する可能性が

十分に低いことを継続的に確認する目的で行うものであって、小規模・中規模な噴火を含めた噴火の正確な時期や規模を「予知」することを目的としているものではない。

相手方は、地殻変動に係る観測点の増設（3地点）を行うなどモニタリングの精度向上に向けた措置を講じているが、今後も火山専門家等の助言を得ながら、破局的噴火の前兆に関する新たな知見の収集等を行い、更なる安全性・信頼性の向上に努めていく。

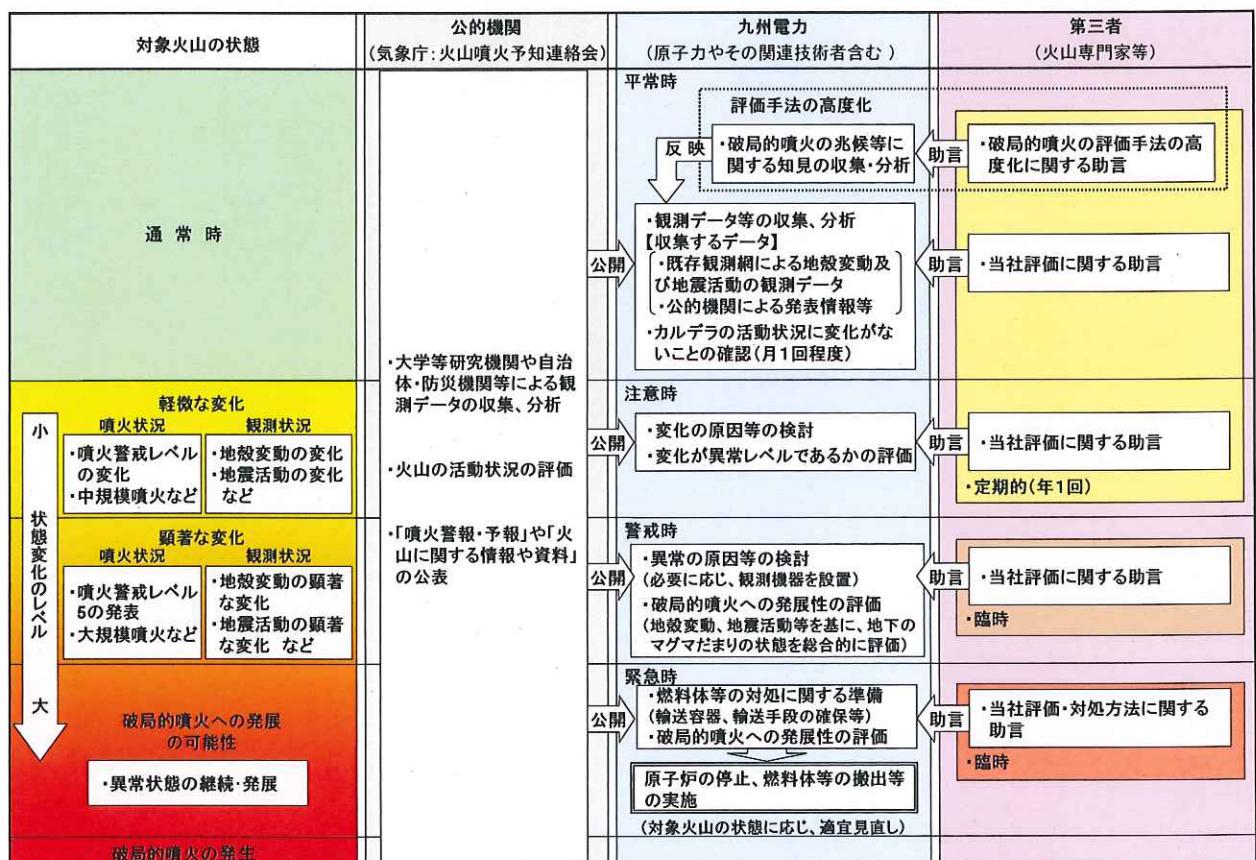


図16 モニタリングの方針と体制

(2) 阿蘇カルデラにおけるモニタリングの状況について

阿蘇カルデラにおける直近のモニタリング（評価期間：平成28年4月1日～平成29年3月31日）では、地殻変動について、熊本地震に伴う顕著な地殻変動及び地震後の余効変動が認められるものの、カルデラ火山の活動に起因する有意な変化は認められず、また、地震活動について、熊本地震の余震が

多数認められるものの、それ以外の有意な変化は認められず、総合評価としては「活動状況に変化なし」という結果であった。この評価結果については、原子力規制庁において、妥当と判断されており【乙191(2, 5, 23頁)】、また、上述した大倉（2017）【乙189】において示された「現在の地殻変動量を考慮すると、今後の火山活動は1930年代のような大規模なものではなく、ましてや大規模なカルデラ噴火が起こるような状態ではない」との解析結果【同26, 28頁】とも整合する。

相手方は、阿蘇カルデラを含む5つのカルデラ火山について、引き続きモニタリングを行い、破局的噴火に発展する可能性が僅かでも存するような事象が確認された時点で、直ちに適切な対処を行うものである。

5 火山事象の影響評価

(1) 評価の概要

相手方は、阿蘇カルデラを含めた5つのカルデラ火山について、「3 本件原子力発電所の運用期間中における火山活動に関する個別評価」で述べた評価を行い、本件原子力発電所の運用期間中に破局的噴火が起こる可能性は極めて低いことを確認した。これを踏まえ、相手方は5つのカルデラ火山の火山事象による本件原子力発電所へ与える影響について、現在の各噴火ステージにおける既往最大規模の噴火を考慮して評価した。

また、その他の16火山（壱岐火山群、多良岳、小値賀島火山群、雲仙岳、南島原、金峰山、万年山火山群、船野山、涌蓋火山群、福江火山群、九重山、立石火山群、野稲火山群、由布岳、高平火山群、鶴見岳）については、各火山の既往最大規模の噴火（VEI5以下の噴火）を考慮して、本件原子力発電所への火山事象の影響を評価した【乙166(11～36頁)】。

その結果、21火山の噴火規模と本件原子力発電所までの距離との関係等から、降下火碎物（火山灰等）を除く火山事象（火碎物密度流、溶岩流、岩屑なだれ、地滑り及び斜面崩壊、新しい火口の開口、地殻変動等）については、いずれも本件原子力発電所の敷地には影響がないことを確認した

【乙 166 (42~44 頁, 54~56 頁)】。

また、降下火碎物（火山灰等）については、約 5 万年前の九重第 1 噴火を踏まえ、降下火碎物（火山灰等）の層厚を想定し、評価を行い、安全性を確認した【乙 166 (45~53 頁)】。以下、降下火碎物の影響評価の詳細について述べる。

(2) 降下火碎物の影響評価

ア 想定した噴火

降下火碎物につき、安全上重要な建物・機器等に影響を及ぼし得る火山事象として、抽出した噴火（5 つのカルデラ火山については、現在の各噴火ステージにおける既往最大規模の噴火（姶良カルデラ：約 1.3 万年前の桜島薩摩噴火（VEI6・巨大噴火）、加久藤・小林カルデラ：約 4.5~4.0 万年前の霧島イワオコシ噴火（VEI5・巨大噴火）、阿多カルデラ：約 0.6 万年前の池田噴火（VEI5・巨大噴火）、鬼界カルデラ：約 0.6 万年前以降の薩摩硫黄島での噴火（VEI4・大噴火）、阿蘇カルデラ：約 3.0 万年前の阿蘇草千里ヶ浜噴火（VEI5・巨大噴火））、その他 16 火山については、既往最大規模の噴火）の中で、敷地からの距離と噴出物量との関係を踏まえ、文献の降下火碎物の分布状況のうち本件原子力発電所に対して最も影響が大きい約 5 万年前の「九重第 1 噴火」を選定した（図 17, 18）。

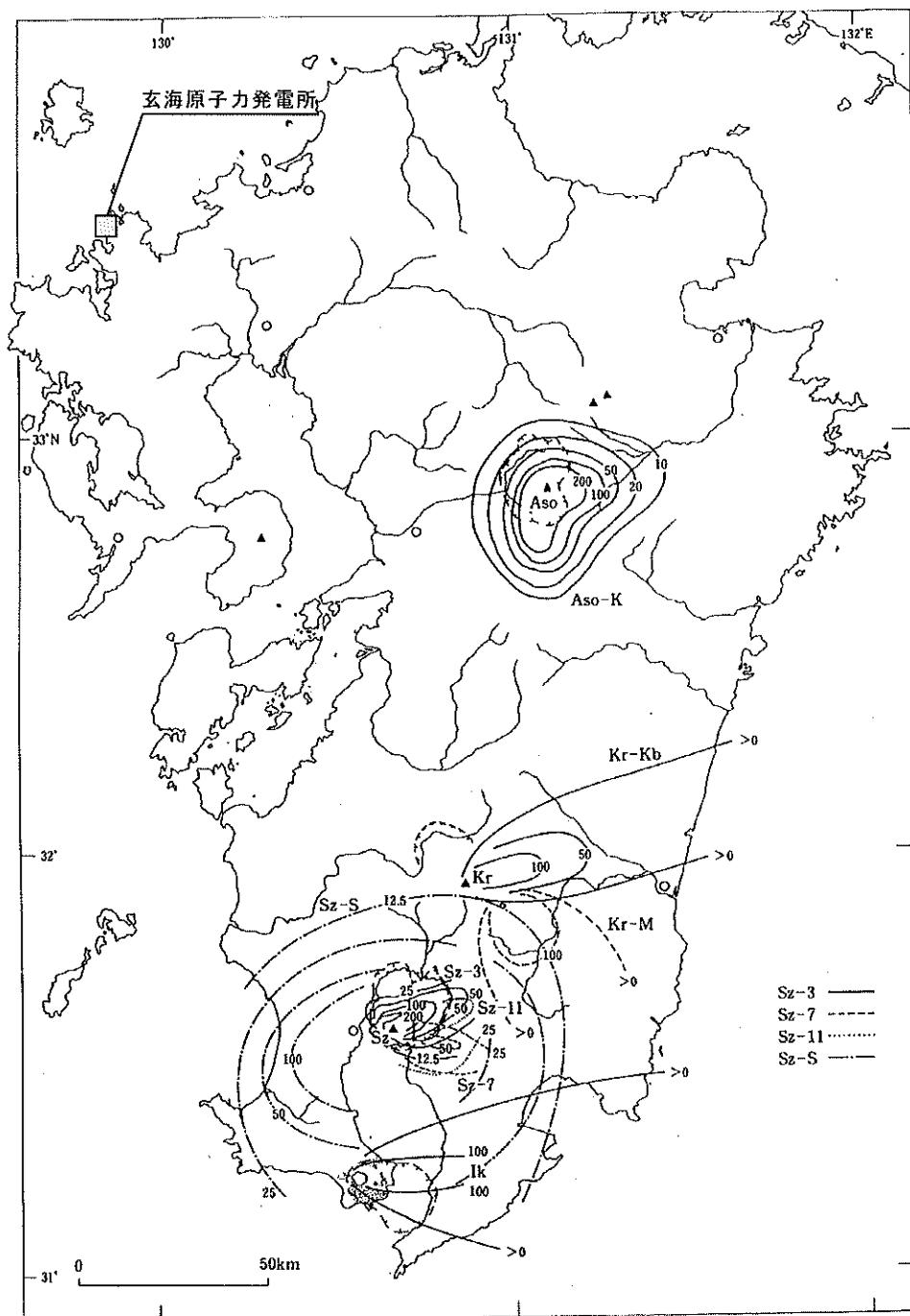


図 3.1-1 九州地方の約3万年前以降の主要テフラの等厚線図。

数値の単位は cm, ○印は県庁所在地、主要都市（以下の図も同様）。

Sz-3 桜島3(文明)¹⁾ Kr-M 霧島御池²⁾⁴⁾² Sz-7 桜島7¹⁾ Ik 池田湖(pfiの分布も示す)³⁾ Sz-11 桜島11¹⁾

Sz-S 桜島薩摩⁵⁾ Kr-Kb 霧島小林 Aso-K 阿蘇草千里浜⁶⁾ Aso:阿蘇, Kr:霧島, Sz:桜島。

[1) 小林哲(1986), 2) 木野・太田(1977), 3) 宇井(1967), 4) 高田(1989), 5) 小林・浦池(2002)]

図 1 7 約3万年前以降の主要な降下火砕物の分布

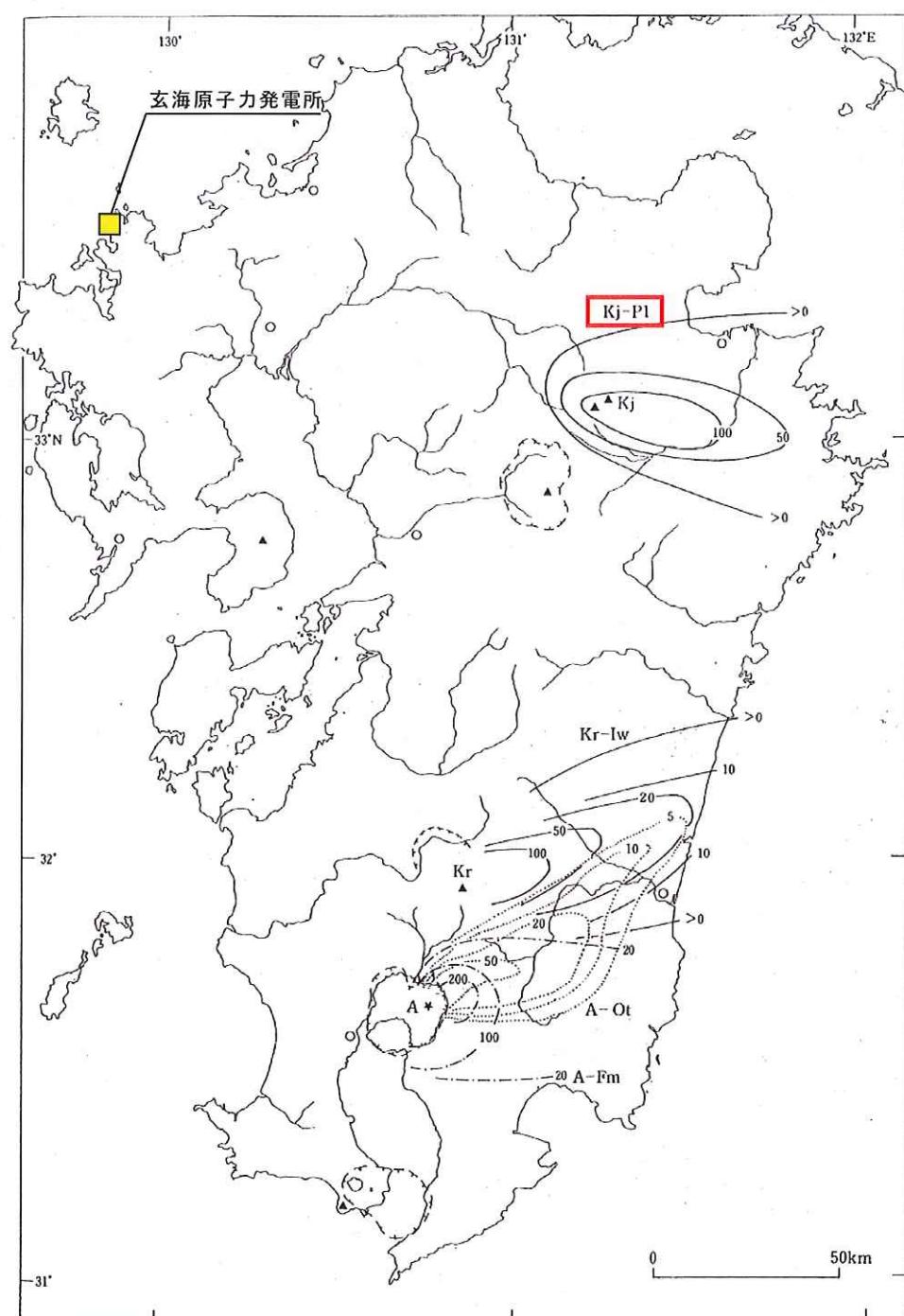


図3.1-2 九州地方の3万～5万年前の主要テフラの等層厚線図。
 A-Fm 始良深港¹⁾ A-Ot 始良大塚²⁾ Kr-Iw 霧島イワオコシ³⁾を一部修正
 Kj:九重, Kr:霧島, A:始良.
 [1) 長岡ほか (2001), 2) Nagaoka (1988), 3) 長岡 (1984)]

Kj-P1 九重第1

図18 3万～5万年前の主要な降下火砕物の分布状況

イ 想定した降下火碎物の層厚

相手方は、九重第1噴火を想定し、以下のとおり、文献調査、地質調査及び数値シミュレーションの結果を踏まえて「10cm」と評価した【乙139-11(67頁)】。

(ア) 文献調査及び地質調査

文献調査及び地質調査により、「町田・新井（2011）」において、九重第1噴火における降下火碎物は、給源である九重山の主に東側に分布し、九重山の西側に位置する本件原子力発電所周辺には堆積していないことを確認した（図1-8）【乙165(117頁)】。

(イ) シミュレーション調査

相手方は、九重第1噴火と同規模の噴火が起こった場合の本件原子力発電所での降灰量について、風や噴煙柱高さのパラメータを変化させてシミュレーションした結果、想定される層厚は最大でも2.2cmであり影響が小さいことを確認した。

(ウ) 降下火碎物の層厚の設定

以上で述べた文献調査、地質調査及び数値シミュレーションの結果を踏まえ、相手方は、降下火碎物の層厚についてさらに安全側に評価し、10cmに設定しており、その判断は合理的である。

ウ 設備に対する影響評価

相手方は上記のとおり安全側に想定した層厚10cmの降下火碎物（火山灰等）が生じた場合についての評価を行い、安全性を確認している。具体的には、相手方は、降下火碎物によって安全機能を失う恐れのある安全上重要な建物・機器等を評価対象施設として抽出し、各評価対象施設の特徴

(形状、機能、外気吸入や海水の通水の有無等)を考慮した上で、降下火碎物による直接的影響(堆積荷重、閉塞、磨耗、腐食等)及び間接的影響(外部電源の喪失及び交通の途絶)を評価している。評価の結果、相手方は、降下火碎物の直接的影響により、本件原子力発電所の安全性が損なわれることはないことを確認するとともに、間接的影響として、降下火碎物による外部電源喪失及び交通の途絶を想定しても、非常用ディーゼル発電機の7日間連続運転により、原子炉及び使用済燃料ピットの安全性を確保できることを確認している。【乙139-11(68~72頁)】

加えて、相手方は、火山影響等発生時¹⁴に備え、非常用ディーゼル発電機の機能維持のためにフィルタコンテナを昨年11月に新設する¹⁵など、降下火碎物に対する本件原子力発電所の安全性を一層高めている。

第5 結論

以上のとおり、本件原子力発電所における相手方の地震動評価は合理的なものであり、相手方は技術基準規則18条1項に従って配管の安全性を確保しており、抗告人らの主張を却下した原決定は妥当であり、抗告人らの主張は理由がない。

また、相手方が実施した火山に関する評価についても合理的なものであり、本件原子力発電所において火山事象において放射性物質の大量放出に至る事故が発生する現実的危険性は認められず、抗告人らの主張は理由がない。

以上

¹⁴ 火山影響等発生時：火山現象による影響が発生するおそれがある場合又は発生した場合をいう。

¹⁵ 降下火碎物の大気中濃度が高濃度となった場合、非常用ディーゼル発電機の吸気消音器吸気フィルタの閉塞時間が短くなり、吸気フィルタの取替・清掃が間に合わなくなるおそれがある。このため、吸気消音器の近傍にフィルタコンテナ(フィルタ面積の拡大、フィルタの二重化及びフィルタ取替えの容易化を図った機材)を新設し、高濃度の降下火碎物が予想される場合、吸気消音器とフィルタコンテナをダクトで接続することによって、非常用ディーゼル発電機を運転しながら、吸気フィルタを順次取替・清掃し、吸気フィルタの閉塞を防ぐもの。