

副本

平成 23 年 (ワ) 第 812 号, 平成 24 年 (ワ) 第 23 号, 平成 27 年 (ワ) 第 374 号  
九州電力玄海原子力発電所運転差止請求事件  
原 告 石丸ハツミ 外  
被 告 九州電力株式会社

準 備 書 面 16  
( 火 山 )

平成 31 年 3 月 8 日

佐賀地方裁判所 民事部合議 2 係 御中

被告訴訟代理人弁護士

堤 克 彦



同 山 内 喜 明



同 松 崎 隆



同 斉 藤 芳 朗



同 永 原 豪



同 熊 谷 善 昭



同 家 永 由 佳 里



同 恩 穂 井 達 也



同 池 田 早 織



## 目 次

第 1	はじめに .....	4
第 2	破局的噴火について .....	4
1	破局的噴火という事象について .....	4
2	破局的噴火に関する評価について .....	7
第 3	運用期間中の破局的噴火の発生可能性の評価方法について .....	8
1	総論 .....	8
2	破局的噴火の噴火間隔について .....	8
3	噴火ステージについて .....	10
4	マグマ溜まりの状況について .....	11
5	小括 .....	13
第 4	始良カルデラについて .....	13
1	破局的噴火の噴火間隔について .....	13
2	噴火ステージについて .....	14
3	マグマ溜まりの状況について .....	15
4	小括 .....	18
第 5	加久藤・小林カルデラについて .....	18
1	破局的噴火の噴火間隔について .....	18
2	噴火ステージについて .....	20
3	マグマ溜まりの状況について .....	20
4	小括 .....	25
第 6	阿多カルデラについて .....	26
1	破局的噴火の噴火間隔について .....	26
2	噴火ステージについて .....	27
3	マグマ溜まりの状況について .....	27
4	小括 .....	29
第 7	鬼界カルデラについて .....	30
1	破局的噴火の噴火間隔について .....	30

2	噴火ステージについて .....	30
3	マグマ溜まりの状況について.....	31
4	小括 .....	35
<b>第8</b>	<b>阿蘇カルデラについて .....</b>	<b>36</b>
1	破局的噴火の噴火間隔について.....	36
2	噴火ステージについて .....	37
3	マグマ溜まりの状況について.....	37
4	小括 .....	40
<b>第9</b>	<b>火山活動のモニタリングについて.....</b>	<b>41</b>
<b>第10</b>	<b>火山事象の影響評価について .....</b>	<b>42</b>
1	評価の概要.....	42
2	降下火砕物の影響評価 .....	43
3	小括 .....	48
<b>第11</b>	<b>結論 .....</b>	<b>48</b>

## 第1 はじめに

準備書面14で主張したように、被告は、本件原子力発電所の火山影響評価として、文献調査、地形・地質調査及び地球物理学的調査を行って、将来の活動可能性を否定できない火山として、5つのカルデラ火山（阿蘇、始良、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）を抽出した上で、各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が運用期間中に影響を及ぼす可能性の評価を行った。

5つのカルデラ火山については、運用期間中における破局的噴火の可能性が十分小さいことを確認したため、現在の噴火ステージにおける既往最大規模の噴火を考慮し、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て評価した結果、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た。

本準備書面では、5つのカルデラ火山に関する個別の評価を記載した上で、運用期間中に破局的噴火が発生する可能性が極めて低いこと、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が極めて低いこと等について主張する。

## 第2 破局的噴火について

### 1 破局的噴火という事象について

(1) 破局的噴火は、火山爆発指数 (VEI) 7以上の噴火であり (表1)、 $100\text{km}^3$ 以上の噴出物を伴う噴火のことをいう (図1, 図2)。

表1 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 ( $\text{km}^3$ )	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—————→							



図1 破局的噴火の噴火規模



出典：NewtonHP

図2 破局的噴火の影響及びイメージ図

(2) 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回程度の極めて低い頻度で発生する火山事象であり、有史以来、人類が経験したことの無い自然現象である。

破局的噴火のエネルギーは、日本の観測史上最大の地震である東北地方太平洋沖地震（M9）のエネルギーの約80倍～500倍にも及ぶ（図3）。他の噴火と比較すると、例えば、1991年の雲仙普賢岳の噴火（死者・行方不明者43名）はVEI1、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 VEI3, 2014 年の御嶽山の噴火 (死者 58 名) は VEI1~2 であり, 破局的噴火は, これらの噴火の数千倍~数十万倍以上の噴出物量にも及ぶ噴火である。

また, 破局的噴火では, 直径 10km を超える大規模なマグマ溜まりが地殻内に形成され, マグマ溜まりの圧力の上昇などにより噴火が発生・継続し, 大量のマグマを噴出すると, マグマ溜まりに空洞が生じ, 天井部が破壊され, 巨大なカルデラ (円形または円弧状の陥没地形のことで, 例えば, 阿蘇カルデラの大きさは 25km×18km にも及ぶ) が生じる (図 4)。

破局的噴火は, 一般の火山噴火と比較すると, より広範囲かつ大規模な地殻変動や地震などが観測されると考えられる。

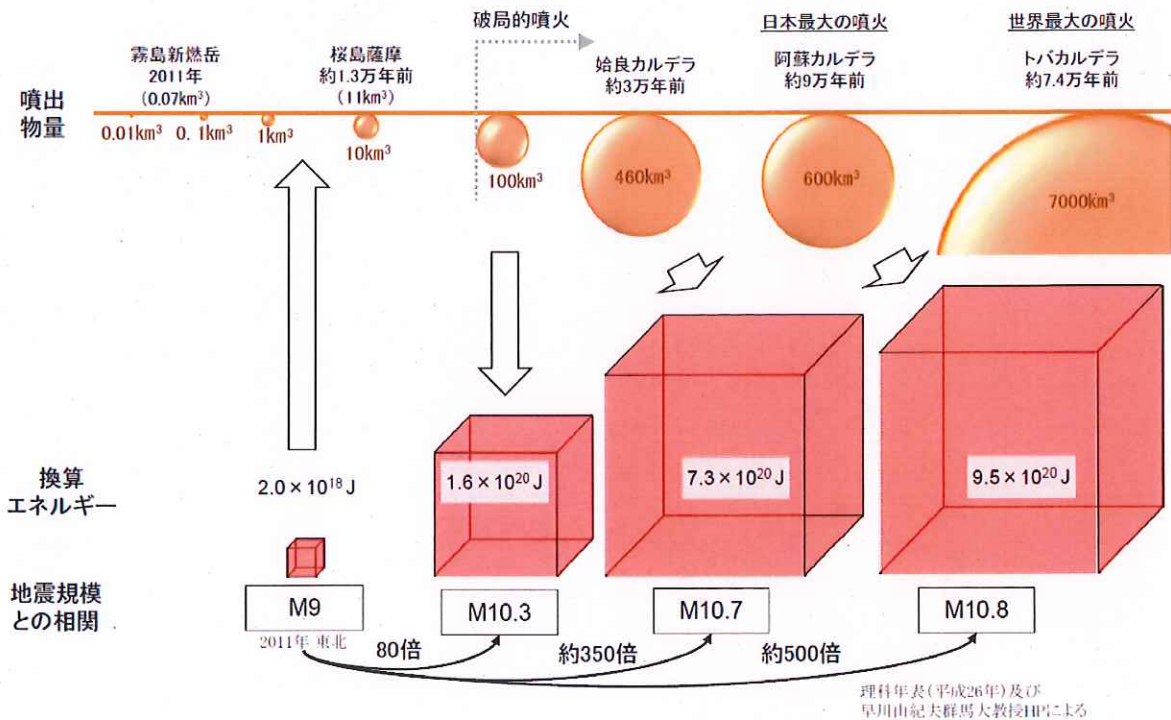


図 3 噴火と地震のエネルギー比較

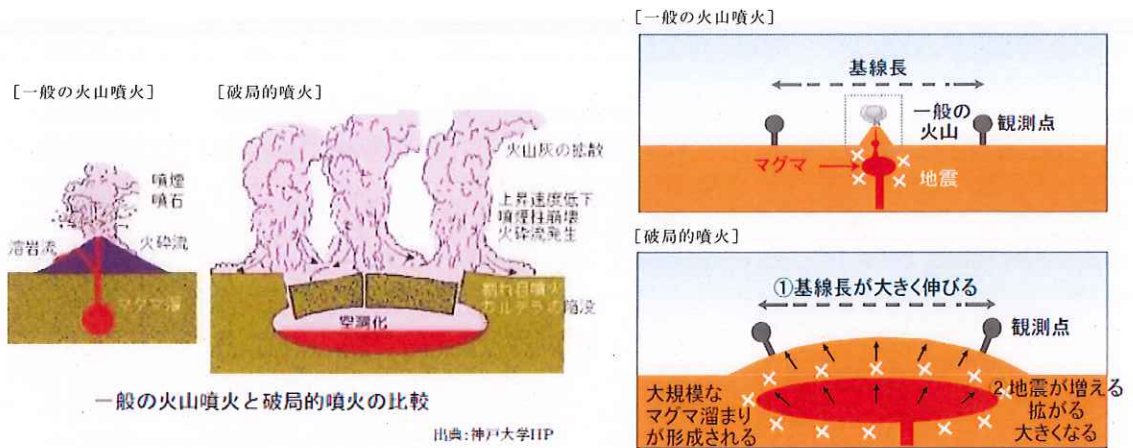


図4 一般の火山噴火と破局的噴火の比較

(3) 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砕流の直撃でほぼ全滅し、死者は 1000 万人を超え、北海道を含む日本列島全体が 15cm 以上の火山灰で覆われて、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 100「破局噴火（高橋正樹著）」195～205 頁】。

実際に発生した破局的噴火の記録を見ても、例えば 7300 年前の鬼界カルデラにおけるアカホヤ噴火では、火砕流は、薩摩・大隈半島、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。

## 2 破局的噴火に関する評価について

(1) 上記のとおり、破局的噴火は、桁外れに大規模な自然現象であり、広域的な地域に重大かつ深刻な災害を引き起こすものである一方、極めて低頻度な事象であり、多くの裁判例において、「破局的噴火が発生する可能性が相応の根拠をもって示されない限り、原子力発電所の安全確保の上で自然災害として想定しなくても安全性に欠けるところはないとするのが、現時点における我が国の社会通念である」などと判断されているところである【乙 179「広島

高裁平成 30 年 9 月 25 日決定（伊方 3 号機に関する仮処分異議審）」、乙 180「大分地裁平成 30 年 9 月 28 日決定（伊方 3 号機に関する仮処分）」、乙 181「高松高裁平成 30 年 11 月 15 日決定（伊方 3 号機に関する仮処分抗告審）」】。

- (2) 破局的噴火は、有史以来、人類が経験したことの無い自然現象であるため、資料やデータが乏しく、発生に至るまでの原理や機序について完全に解明されているものではないが、そのように現在の火山学自体に限界がある中で、被告は、国内に限らず海外の知見も含めた最新の知見を可能な限り収集・検討した上で、これらを踏まえた評価を行ったものであり、被告の評価は、現在の科学技術水準に照らして十分な合理性を有するものである。

### 第 3 運用期間中の破局的噴火の発生可能性の評価方法について

#### 1 総論

被告は、5つのカルデラ火山（阿蘇，始良，加久藤・小林，阿多，鬼界）における運用期間中の破局的噴火の発生可能性について、以下のとおり、①破局的噴火の噴火間隔，②噴火ステージ，③マグマ溜まりの状況の3つの観点を総合的に考慮して、評価を行った。

#### 2 破局的噴火の噴火間隔について

##### (1) 各カルデラ火山の破局的噴火の噴火間隔について

ア 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。

被告は、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。

イ なお、原告らは、準備書面（20）において、巽教授の見解を基に巨大噴火の噴火間隔は「周期」という概念が適用できないほど不揃いであり、一定のマグマ生成率の下でマグマ溜まりがある大きさに達すると巨大噴



火が発生するというようなシンプルなモデルは適用できない旨主張するが、噴火間隔により将来の噴火可能性を評価する手法については、火山学において一般的に一定の有用性が認められており<sup>1</sup>、5つのカルデラの破局的噴火の噴火間隔から、将来の破局的噴火の噴火可能性を評価し、1つの考慮要素とすることは、合理的である。

(2) 鹿児島地溝にある3カルデラの噴火間隔について

ア 被告は、鹿児島地溝にある3カルデラ（始良，加久藤・小林，阿多）全体【乙182「中央防災会議 桜島噴火報告書」5頁，乙183「日本地方地質誌」260頁】としての噴火間隔についても検討したところ、階段ダイヤグラム（噴出物量と時間との関係図）における過去60万年の破局的噴火の噴火間隔は、約9万年の周期性を有していることが分かった<sup>2</sup>（図5）【乙184「阪神コンサルタンツ意見書」】。

そして、上記3カルデラにおける最新の破局的噴火は、約3万年前の始良Tnであり、始良Tnからの経過期間は上記「約9万年」よりも十分短いことから、被告は、運用期間中に3カルデラで破局的噴火が発生する可能性が低いことに関する積極的な事情の1つとして考慮した。

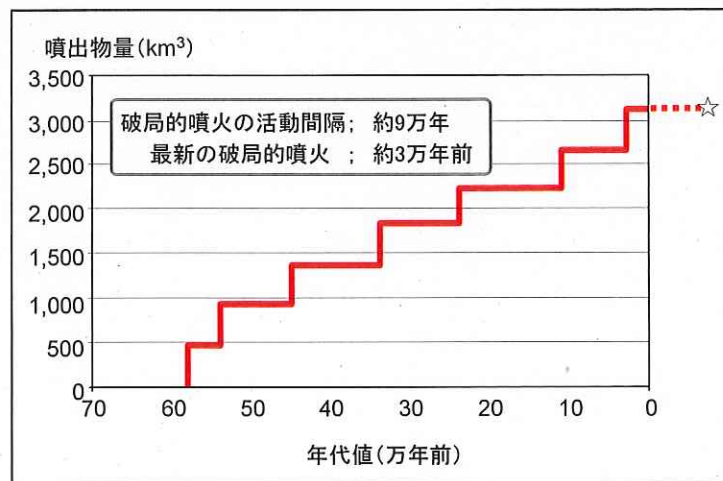


図5 鹿児島地溝の3カルデラの階段ダイヤグラム

- <sup>1</sup> 前野（2014）【乙101】は、過去の噴火履歴から噴火間隔を検討して将来の噴火を想定することの有用性を示している。
- <sup>2</sup> なお、上記階段ダイヤグラムを作成するにあたっては、火山灰アトラス【乙97】に基づき3カルデラにおける破局的噴火を選定し、選定した各噴火の噴出物量及び噴火年代を設定している。

イ この点、上記評価の合理性については、「小林・矢野（2007）」【乙 185】において、鹿児島地溝の形成が火山活動と密接に関わっており、鹿児島地溝内部は全体として活動的な火山構造性地溝とみなせることが述べられていること（「小林（2014）」【乙 186】 91 頁でも同趣旨のことが述べられている）、「中田（2015）」【乙 187】において、南九州地域のカルデラにおける噴火の頻度と規模の間に一定の規則性が存することが述べられていること、「中田（2014）」【乙 188】において、規則性が認められる広範囲において、階段図を検討することは合理的であり、南九州カルデラ地域という単位で階段図を検討することが合理的であることが述べられていることから裏付けられる。

### 3 噴火ステージについて

(1) 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、ハザードマップの作成に際しても用いられるなど、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。

(2) Nagaoka（1988）は、詳細な地質調査（テフラの対比等）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、①鹿児島地溝における噴火サイクルについて、噴火フェーズの考えに基づくと、プリニー式噴火サイクル、大規模火砕流噴火サイクル、中規模火砕流噴火サイクル及び小規模噴火サイクルに分類されること、②始良カルデラ及び阿多カルデラでは、10万年間に複数回のプリニー式サイクルが、それぞれ大規模火砕流噴火サイクルの前に断続的に発生し、数万年間に及び、大規模火砕流噴火サイクルに続いて、中規模火砕流噴火サイクルが1万年間続き、次いで、後カルデラ火山で小規模噴火サイクルが発生し、これらのサイクルは5～8万年続く「噴火マルチサイクル」を構成すること、③鬼界カルデラは、この一般的パターンの例外であり、噴火口にかかる高い水圧のため、プリニー式噴火サイクルと中規模火砕流噴火サイクルが存在しないこと、④鹿児島地溝のカルデラは、

1回の大規模火砕流噴火サイクルで生じたのではなく、複数の噴火サイクル及びマルチサイクルで形成されたことが述べられている【乙 103「Nagaoka (1988)」105～117頁】。

- (3) 被告は、上記 Nagaoka (1988) の知見から、始良カルデラ及び阿多カルデラにおいては、プリニー式噴火ステージ、破局的噴火ステージ、中規模火砕流噴火ステージ及び後カルデラ火山噴火ステージからなる噴火マルチサイクルを繰り返し、鬼界カルデラにおいては、破局的噴火ステージ及び後カルデラ火山噴火からなる噴火マルチサイクルを繰り返すと考えることに一定の合理性があると考えた。

また、被告は、Nagaoka (1988) に示された噴火ステージの考え方は、他のカルデラ火山についても一定の参考になると考え、加久藤・小林カルデラ及び阿蘇カルデラにおける過去の噴火履歴をもとに噴火ステージについて評価したところ、いずれもプリニー式噴火ステージ及び中規模火砕流噴火ステージは確認できず、破局的噴火ステージ及び後カルデラ噴火ステージのみが確認できた。

そこで、被告は、各カルデラ火山の噴火ステージを検討し、運用期間中の破局的噴火の可能性に関する1つの考慮要素とした。

#### 4 マグマ溜まりの状況について

- (1) 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浅所で一時的に蓄えられたものである。

マグマは、珪素 ( $\text{SiO}_2$ ) の量が少ない順番（珪素の量が少ないほど密度が高く粘り気が低い）に、玄武岩質、安山岩質、デイサイト質及び流紋岩質の4つに分類され、破局的噴火を発生させるのはデイサイト質及び流紋岩質のような珪素の量が多い珪長質の大規模なマグマ溜まりである【乙 105「荒牧(2003)」】。

- (2) そして、破局的噴火を発生させるためには、深さ 10km よりも十分浅い位置に、破局的噴火を発生させ得るほど多量の珪長質マグマが蓄積されている必要がある（この点については、被告「準備書面 14」で詳述したとおり、多数の知

見や実例により裏付けられている<sup>3)</sup>。

そこで、被告は、各カルデラについて、深さ 10km 以浅における大規模なマグマ溜まりの有無を検討した。

この点、原告らは、現在の科学技術水準では地下のマグマ溜まりを精度よく把握することは困難である旨を主張するが、被告は、地下のマグマ溜まりの位置及び規模を正確に把握できることを主張するものではない。上述したとおり、破局的噴火は、有史以来、人類が経験したことのない自然現象であるため、資料やデータが乏しいものの、桁外れに大規模な自然現象であって、一般の火山噴火と比較すると、より広範囲かつ大規模な地殻変動や地震などが観測されると考えられることから、運用期間中に破局的噴火を起こし得るような大規模なマグマ溜まりの有無を評価することは可能であると考えられる。

- 
- <sup>3)</sup> ①下司 (2016)【乙 109】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述べている。
- ②東宮 (1997)【乙 107】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、珪長質マグマの浮力中立の目安が深さ 7km 以浅であることを述べている。
- ③吉田ほか (2017)【乙 110】は、浮力中立点にマグマ溜まりが形成されるとし、浮力中立点の深さの目安として東宮 (1997) を援用している。
- ④荒牧 (2003)【乙 105】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。
- ⑤荒牧 (2003)【乙 189】は、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したものが大型のカルデラをつくる火砕流噴火のマグマの元であると考えられることを指摘している。
- ⑥鍵山編 (2003)【乙 108】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などを述べる。
- ⑦小林 (2017)【乙 121】は、珪長質マグマが徐々に地殻の上部に移動し、地下浅所に大規模な珪長質マグマ溜まりが形成されること、上昇するマグマは周囲の母岩との密度差がなくなる層準 (地下 10km～数 km) まで到達することなどを述べる。
- ⑧安田ほか (2015)【乙 111】は、始良カルデラにおける約 3 万年前の破局的噴火の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。
- ⑨篠原ほか (2008)【乙 112】は、鬼界カルデラの約 7300 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だまりが存在したことを明らかにしている。
- ⑩高橋 (2014)【乙 113】は、約 2 万 6000 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りに 1000 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。

(3) また、多くのカルデラ噴火の前にはマグマ溜まりの膨張があったと考えられるところ、マグマ溜まりの規模の変化は、カルデラ火山の基線長の変化から推定することができる（マグマ溜まりの膨張の点については、被告「準備書面14」で詳述したとおり、多数の知見により裏付けられており<sup>4</sup>、また、実際に VEI5 クラスの噴火でもある程度の兆候を把握できており<sup>5</sup>、その数十倍以上の規模を有する破局的噴火の兆候を把握することは十分に可能である）。

そこで、被告は、基線長の変化からマグマ溜まりの増大の有無について検討し、その結果を考慮した。

## 5 小括

以上のとおり、被告は、運用期間中の破局的噴火の発生可能性について、上記3つの観点を総合的に考慮して評価を行ったものであり、最新の知見に照らしても合理的である。

## 第4 始良カルデラについて

### 1 破局的噴火の噴火間隔について

始良カルデラは、最後の破局的噴火（始良T<sub>n</sub>）から約3万年が経過しているが、始良T<sub>n</sub>の前の破局的噴火は約6万年以上前であるから、経過時間は、破局的噴火の噴火間隔に比べて十分に短い（町田・新井編(2011)【乙97】、長岡ほか(2001)【乙192】、西村・小林(2012)【乙193】、奥野(2002)【乙194】、小林ほか(2013)【乙195】、小林・溜池(2002)【乙196】、須藤ほか(2007)【乙197】）ため、運用期間中に始良カルデラで破局的噴火が発生する可能性が低いことに関する積極

<sup>4</sup> ①Druitt et al. (2012) 【乙114】は、破局的噴火の直前に急激にマグマ供給量が増大したことに関する知見を示している。

②大倉(2017)【乙120】は、これまでに多くのマグマ噴火の前兆現象としてマグマ溜まりの膨張がとらえられており、基線長に変化がない火山が直ちに噴火に至る可能性は低いことを指摘している。

③小林(2017)【乙121】は、カルデラ噴火の100年～数100年前に急激な地盤の上昇が起こる旨を指摘している。

<sup>5</sup> 京都大学防災研究所は、桜島の活動を観測行っており、現在の昭和火口における小規模爆発については、多数の観測装置により微小な山体の隆起・膨張を事前に捉えることに成功し、今後10年程度で桜島大正噴火(VEI5・巨大噴火)によって放出されたマグマに相当する量に達する見込みであるとの知見を示している【乙190「井口(2014a)」, 乙191「井口(2014b)」】。

的な事情として考慮した（図6）。

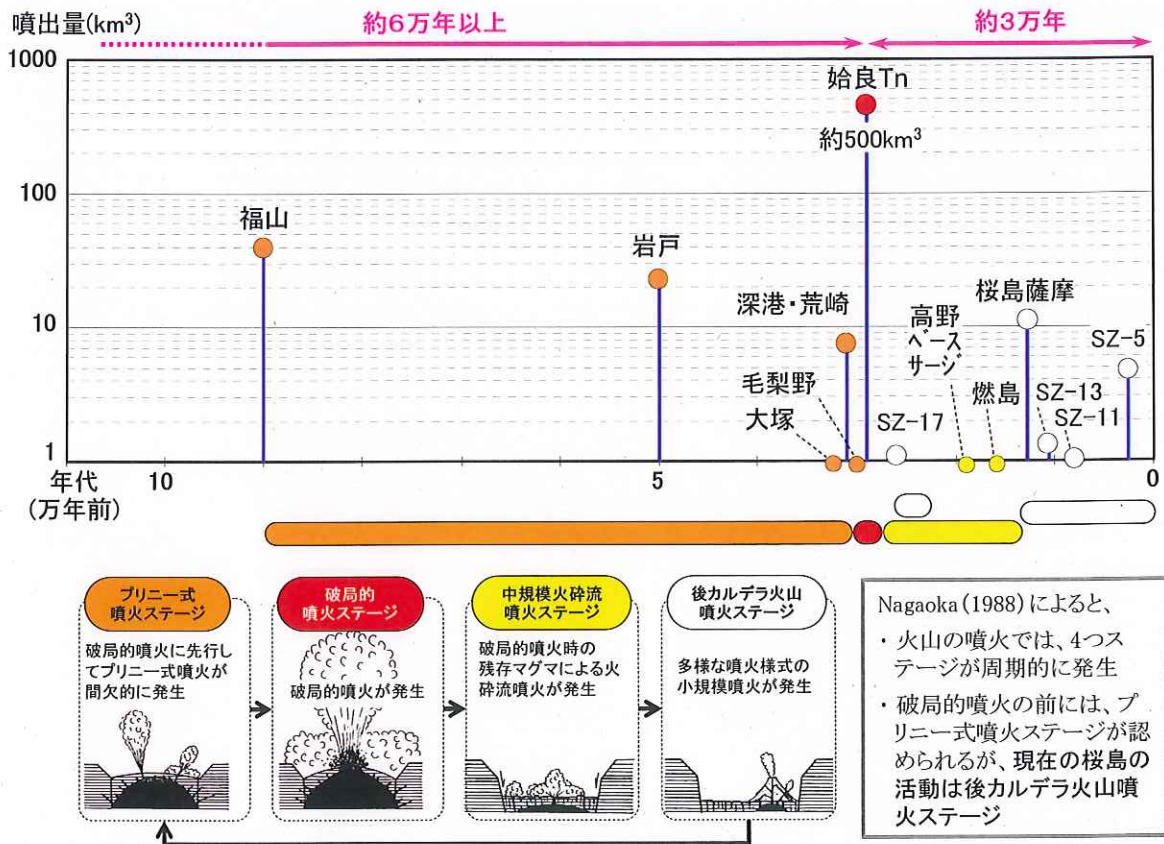


図6 始良カルデラにおける噴火履歴

また、上述したように、鹿児島地溝の3カルデラにおける破局的噴火の噴火間隔についても、始良カルデラにおいて運用期間中に破局的噴火が発生する可能性が低いことに関する積極的な事情として考慮した。

## 2 噴火ステージについて

現在の始良カルデラにおける噴火活動は、桜島において多様な噴火様式の小規模噴火が発生しているのみであり、プリニー式噴火が間欠的に発生しているものではなく、Nagaoka (1988) においても、現在、後カルデラ火山噴火ステージにあることが示されている【乙103・109頁「Fig.48」, 107頁】ことから、被告は、運用期間中に始良カルデラで破局的噴火が発生する可能性が低いことに関する積極的な事情として考慮した。

なお、始良カルデラは、一般的にも、現在、後カルデラ期にあると考えられており【乙 198（日本火山学会第 21 回公開講座資料）14 頁，乙 199（桜島火山の地質）309 頁】，被告の評価と整合する。

### 3 マグマ溜まりの状況について

#### (1) 総論

始良カルデラにおいて、地下深さ 10km より十分浅い位置に、大規模な珪長質マグマ溜まりは存在しない。

この点、始良カルデラに関しては、①始良カルデラ中央部下約 10～12km に主マグマ溜まり，②桜島南岳下 4km，③桜島北岳下 3～6km に副マグマ溜まりがあるとの知見があるが、下記(2)ないし(5)のとおり、いずれも破局的噴火を起こし得る大規模な珪長質マグマ溜まりではない。

また、国土地理院による電子基準点の解析結果によると、基線長に若干の変化はみられるものの（図 7），既往の研究に基づくマグマ供給率は  $0.01\text{km}^3/\text{年}$  程度であり、マグマ溜まりの顕著な増大はない【乙 200（加茂・石原(1980)），乙 201（江頭(1989)），乙 202（山本ほか(2013)），乙 203（井口ほか(2013)）】。

従って、始良カルデラにおいて、破局的噴火を起こし得るようなマグマ溜まりが存在する可能性は低いと考えられ、被告は、運用期間中に破局的噴火が発生する可能性が低いことに関する積極的な事情として考慮した。

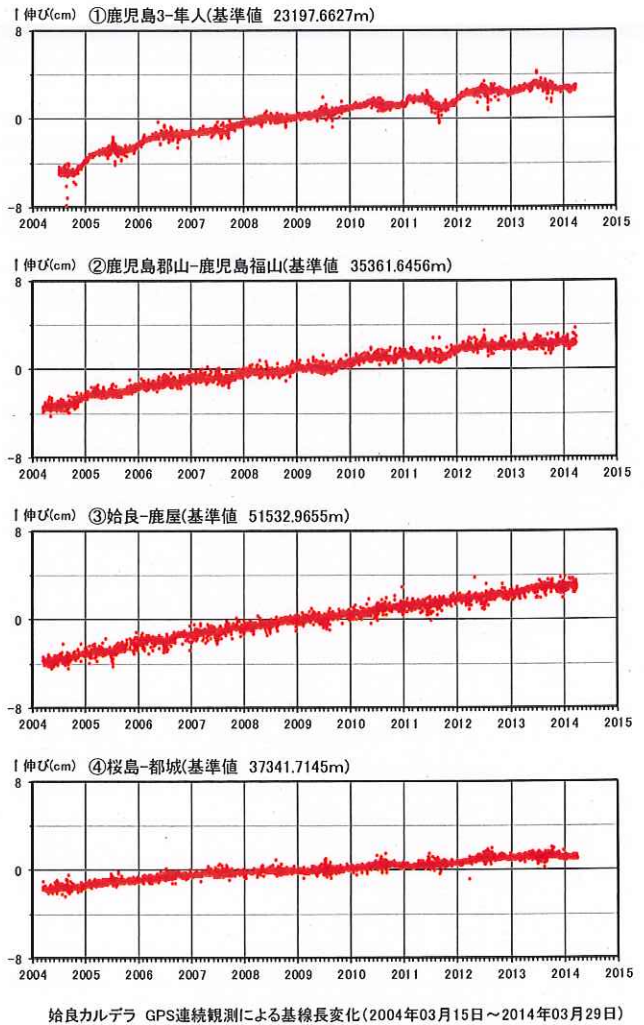
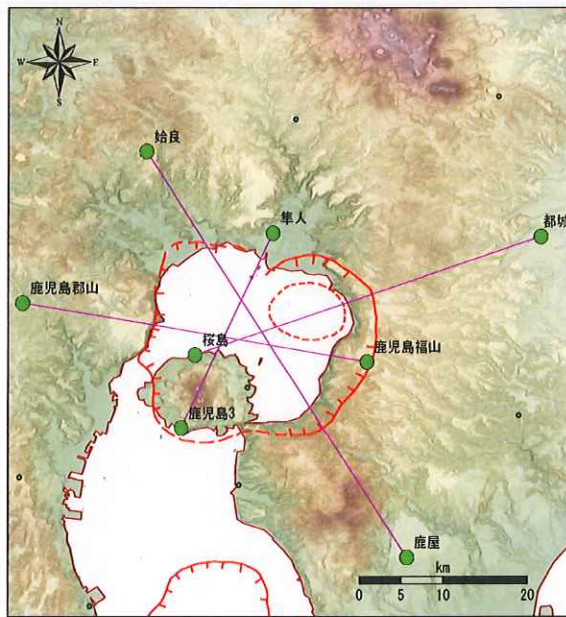


図7 始良カルデラにおける GPS 観測結果<sup>6</sup>

(2) 始良カルデラ中央部下のマグマ溜まり

始良カルデラ中央部下約 10～12km にマグマ溜まりがあるとする知見がある（井口ほか（2011）【乙 204】，京都大学防災研究所（2013）【乙 205・2 枚目】）が，上述したように，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，深さ 10km よりも十分浅い位置に定置すると考えられる上に，始良カルデラでの過去の破局的噴火時のマグマ溜まりの上部は深さ 4～5km 程度の地殻浅

<sup>6</sup> 図7の説明：始良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った場合には，地表の水平距離は伸びる（プラスの値）ところ，図7では若干の変化はみられるものの，マグマ溜まりの顕著な増大を示すものではない。



部にまで広がっていた【乙 111 (安田ほか (2015))】ことからすると、このマグマ溜まりが破局的噴火を起こすような大規模な珪長質のマグマ溜まりである可能性は低い。

(3) 桜島南岳下のマグマ溜まりについて

桜島南岳下約 4km にマグマ溜まりがあるとする知見がある (京都大学防災研究所 (2013) 【乙 205】、井口 (2015) 【乙 206】) が、桜島南岳における噴出物は安山岩質であり【乙 195 (桜島火山地質図)】、また、このマグマ溜まりが大規模であることを示す知見もないことから、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ではないと考えられる。

(4) 桜島北岳下のマグマ溜まりについて

桜島北岳下約 3~6km にマグマ溜まりがあるとする知見がある (井口ほか (2011) 【乙 204】、井口 (2015) 【乙 206】、京都大学防災研究所 (2013) 【乙 205】) が、南岳のマグマ溜まりと連動していることから安山岩質であると考えられ (京都大学防災研究所 (2013) 【乙 205】)、また、大規模であることを示す知見もないことから、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ではないと考えられる。

(5) 上記(2)ないし(4)と整合する知見について

上記(2)ないし(4)の評価について、関口ほか (2014) 【乙 207・308 頁】が「現在の桜島の活動はまだマグマ混合過程で珪長質マグマの巨大マグマ溜まり過程には移行していないと解釈でき、現在は珪長質マグマ溜まりが小さく苦鉄質マグマが地表近くまで到達している可能性がある」との知見を示していること、小林(2017) 【乙 121】が、始良カルデラを含めた九州のカルデラ火山について、今後の数 100 年以内にカルデラ噴火が発生するような状況にない旨を明言していること、宮町ほか(2018) 【乙 208】が、始良カルデラを含めた南九州で人工地震探査を行った結果、始良カルデラの地下深さ 10 km 程度までに

マグマ溜まりを疑わせるような異常な低速度領域は観測されていないこと、井口(2018)【乙209】が、地震波トモグラフィーによる3次元構造の調査結果及びこれまでの始良カルデラ及び桜島に関する各種知見等を踏まえれば、現在の始良カルデラの状況で、VEI7以上の破局的噴火が発生する可能性は低いと考えられるとしていることとも整合する(図8)。

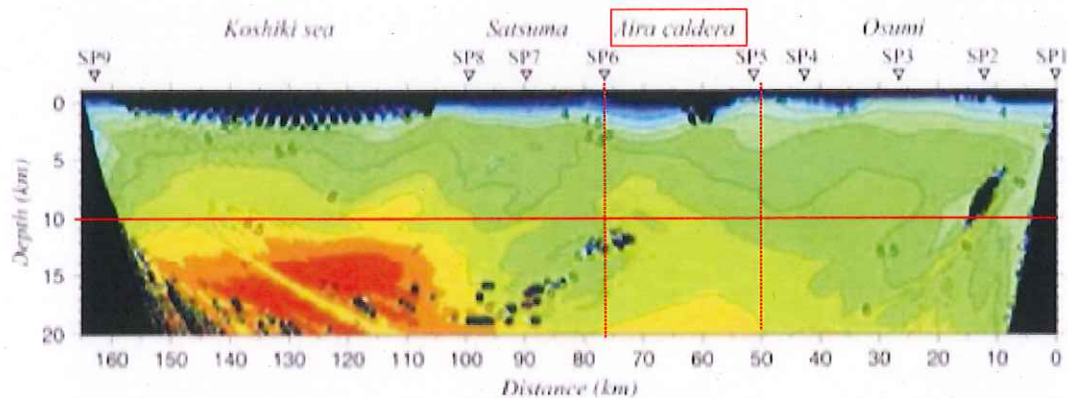


図8 宮町ほか(2018)【乙208】で示されている二次元P波速度構造<sup>7</sup>

#### 4 小括

被告は、上記1ないし3を総合的に考慮して、始良カルデラにおいて、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と評価した。

### 第5 加久藤・小林カルデラについて

#### 1 破局的噴火の噴火間隔について

加久藤・小林カルデラは、最後の破局的噴火(加久藤噴火)から約33万年が経過しているが、加久藤噴火とその前の破局的噴火(小林笠森噴火)は約20万年の間隔である(町田・新井(2011)【乙97】、長岡ほか(2010)【乙210】、井村・小林(2001)【乙211】)(図9)。

<sup>7</sup> 図8の説明: 始良カルデラを含む南九州の二次元P波速度構造を示したものである。赤色に近いほど高速度領域(青色に近いほど低速度領域)であることを示し、始良カルデラの地下10km以浅は隣接する領域よりも高速度領域であり、マグマ溜まりを疑わせるような異常な低速度領域は観測されていない。なお、図中の赤線は被告による。

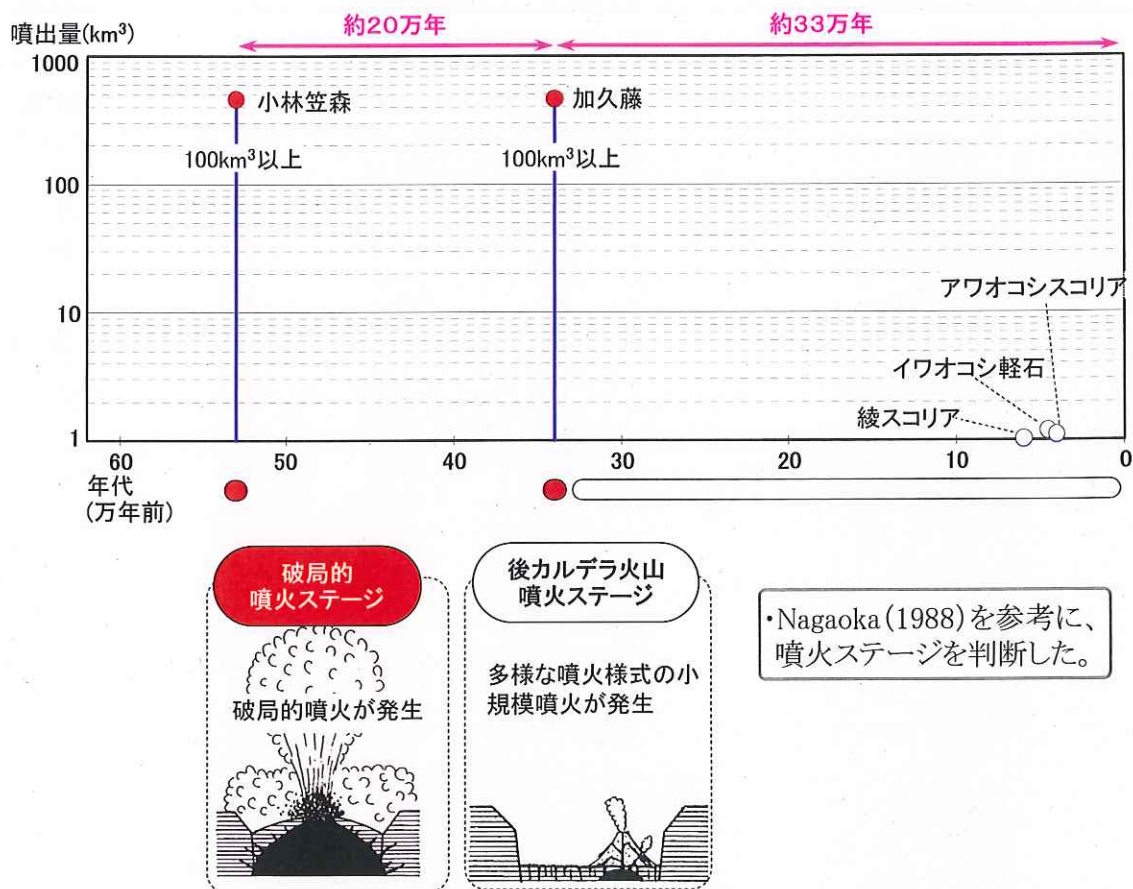


図9 加久藤・小林カルデラにおける噴火履歴

このことのみからすると、破局的噴火が切迫している可能性があるとの評価もあり得る（その意味では破局的噴火が発生する可能性が低いことに関する消極的な事情として考慮すべきものである）が、上述したように、鹿児島地溝の3カルデラにおける破局的噴火の噴火間隔については、加久藤・小林カルデラにおいて運用期間中に破局的噴火が発生する可能性が低いことに関する積極的な1つの事情と言える。

また、以下で述べるように、加久藤・小林カルデラは、現在、後カルデラ火山噴火ステージにあると考えられ、しかも、現在、破局的噴火を起こすような大規模な珪長質のマグマ溜まりは確認されておらず、基線長の変化も見られずマグマ溜まりの顕著な増大は認められないことから、被告は、運用期間中に破局的噴火が発生する可能性は低いと評価したものである。

## 2 噴火ステージについて

現在の加久藤・小林カルデラにおける噴火活動は、最新の破局的噴火以降、霧島山においてイワオコシ軽石等の多様な噴火様式の小規模噴火が発生しているのみであり、破局的噴火ステージにあると評価すべき事情が存しないことから、後カルデラ火山噴火ステージにあると考えられ、加久藤・小林カルデラにおいて運用期間中に破局的噴火が発生する可能性が低いことに関する積極的な1つの事情として考慮した。

## 3 マグマ溜まりの状況について

### (1) 被告の主張

加久藤・小林カルデラにおいて、地下深さ 10km より十分浅い位置に、大規模な珪長質マグマ溜まりは存在しない。

この点、加久藤カルデラの南東縁に位置する霧島火山群に関し、北西部の火山（硫黄山・新燃岳・中岳）の地下深さ 10km 付近にマグマ溜まりがあると考えられているが、硫黄山や新燃岳における噴出物が安山岩質である【乙 211（霧島火山地質図）】ことから、浅い位置に大規模な珪長質のマグマ溜まりが存在する可能性は低い<sup>8</sup>。また、マグマ溜まりが水平方向に広がっているのは約 10km 以深であって、10km より十分浅い位置には広がっていない（図 10）ことから、破局的噴火を起こし得るような大規模な珪長質のマグマ溜まりではない。

### (2) 上記(1)の主張の根拠となる知見

上記(1)の被告の主張は、以下の知見により裏付けされている。

#### ① 鍵山ほか（1997）【乙 213】

鍵山ほか（1997）は、霧島火山群の比抵抗構造を分析し、人工地震探

<sup>8</sup> 地殻の形成【乙 212】において、地殻内に大規模な低密度の珪長質マグマ溜まりが存在し、そこに地下深くから高密度の玄武岩質マグマが供給された場合、玄武岩質マグマはマグマ溜まりの中の珪長質マグマを突き抜けて地表に達することができず、マグマ溜まりの底部に留まることが流体力学的に推定されるとされており【乙 212・141 頁】、実際に安山岩質マグマが噴出していることからすれば、地下浅いところに広範囲にわたって珪長質のマグマ溜まりが形成されている可能性は低い。

査の結果と合わせて火山の地下構造について考察したものであるが、北西側の火山（硫黄山・新燃岳・中岳）の地下 10km 付近に低比抵抗層が広がっており、硫黄山・新燃岳の火口近傍ではその深さが浅くなる傾向があること【乙 213・S159 頁「Fig.2.」】，人工地震探査の結果，約 10km の深さと 2.5~3km にかけての浅部に強い反射面が存在し，上記の低比抵抗領域に対応すると考えられることを指摘した上で，図 10 のとおりマグマ供給系の模式図を示している【乙 213・S162 頁】。

これらの考察及び図 10 から，霧島火山群の北西部のマグマ溜まりに関し，10km より浅い位置には広がっていないことが分かる。

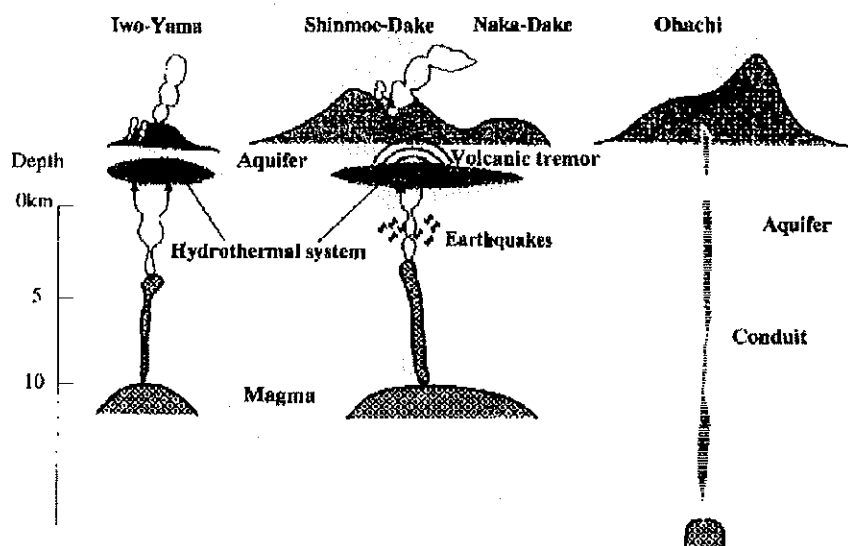


図 10 霧島火山群におけるマグマ供給系の模式図  
(鍵山 (2003) より抜粋)

## ② 鍵山 (2003) 【乙 214】

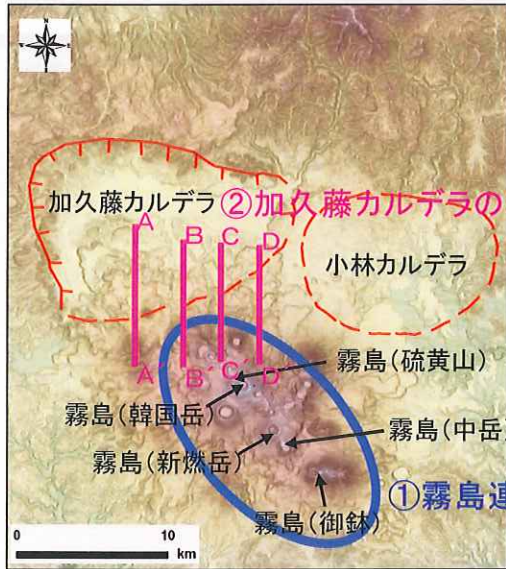
鍵山 (2003) は，霧島火山群及び加久藤カルデラにおける比抵抗構造を基にマグマの構造について述べたものであるが，霧島火山群について，北西側の火山の地下 10km 付近にマグマに関連する低比抵抗領域が広がっていること，火口の近くでは 3km 程度の浅さまで上昇していることを指摘した上で【乙 214・841~842 頁】，上記図 10 と同様の図を示しており，マグマ溜まりが 10km より浅い位置には広がっていない

ことが分かる。

また、加久藤カルデラについては、「加久藤カルデラの地下にマグマが存在する可能性は低い」【同 840 頁】、「地震が多く発生する深さ 8km 付近の比抵抗は高く、マグマや熱水が多く存在しているとは思えない結果となっている。従って、電磁気探査からは、カルデラの地下にマグマが存在することには否定的であるが、もう少し深い 10km から 20km の深さの構造はまだ十分に明らかにされてはいないので、より深部にマグマが存在するかどうかは分からない」とされており【同 842 頁】、少なくとも 10km より十分浅い位置にマグマ溜まりがないことが明らかにされている。

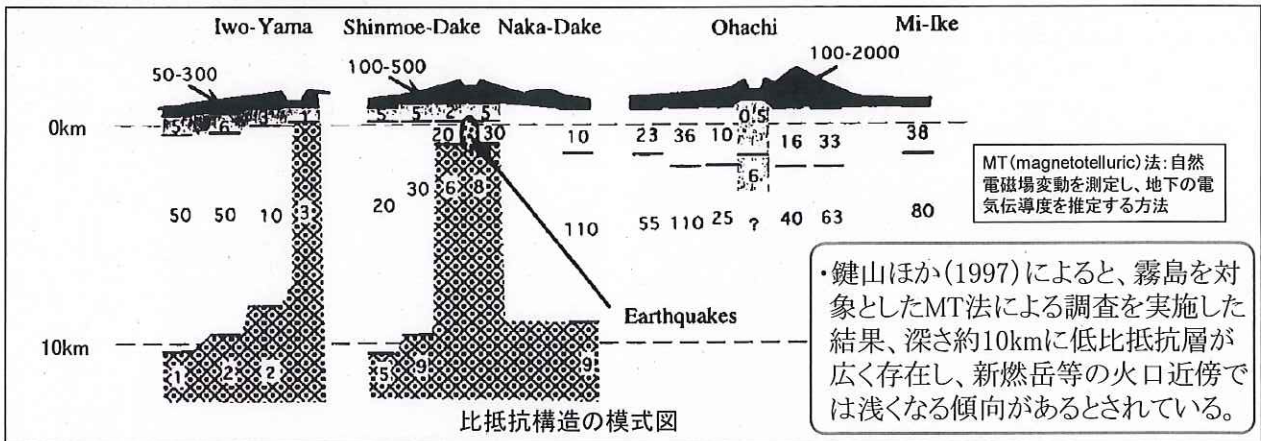
③ Goto, T. et al. (1997) 【Z 215】

Goto, T. et al. (1997) は、加久藤カルデラの南東部で発生したえびの群発地震に関して、MT 法による調査を実施して震源域周辺の比抵抗構造を明らかにしたものであるが、地下 10km 以浅の群発地震発生領域（乙 215・1280 頁「Fig. 1.」における A-A' 断面及び B-B' 断面）については高い比抵抗値を示し、大規模な流体は存在しないことを示した。このことから、えびの群発地震の発生領域においては、地下 10km 以浅に大規模なマグマ溜まりが存在しないことが分かる（図 1 1）。

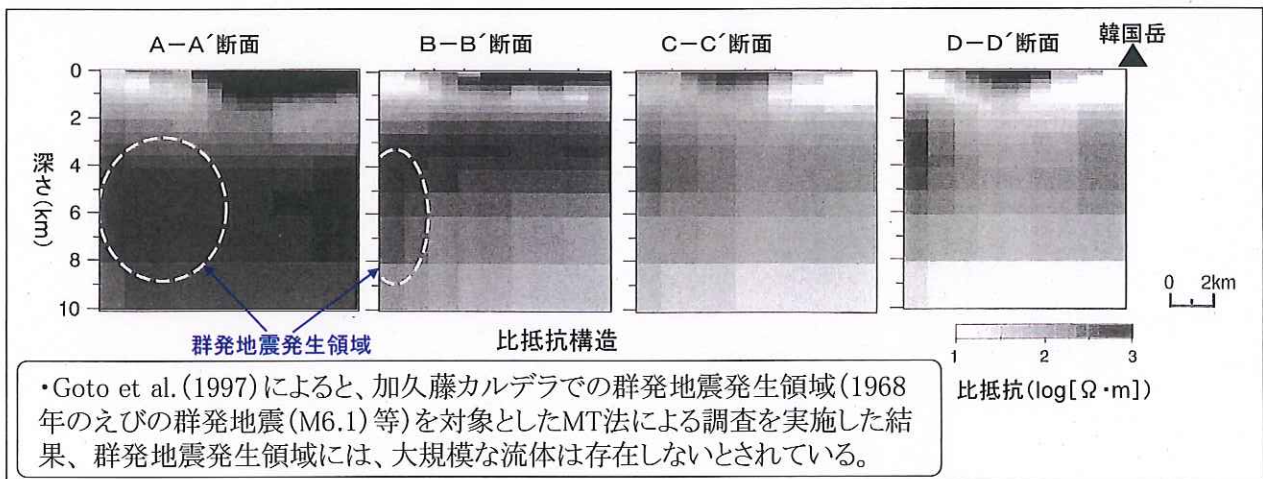


加久藤カルデラ ②加久藤カルデラの地下構造 (Goto et al., 1997)

①霧島連山の地下構造 (鍵山ほか, 1997)



①霧島連山の地下構造 (鍵山ほか, 1997)



②加久藤カルデラの地下構造 (Goto et al., 1997)

図 1 1 加久藤・小林カルデラの地下構造<sup>9</sup>

<sup>9</sup> 図 1 1 の説明: 加久藤・小林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。①図では比抵抗値を数値で示し、低比

④ 大倉 (2017) 【乙 120】

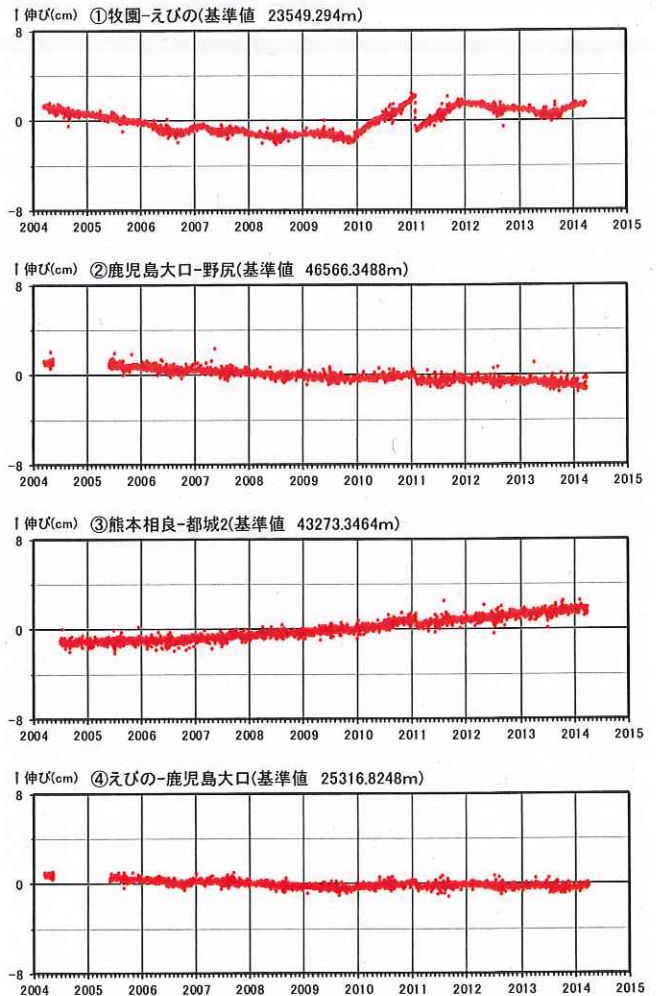
大倉 (2017) は、測地学的手法による観測によって得られた地殻変動のデータを基に、加久藤・小林カルデラその他のカルデラのマグマ溜まりの状態について分析した最新の知見である。

大倉 (2017) は、霧島火山近傍及び加久藤・小林カルデラ周辺の GEONET 観測点における 2004 年～2011 年の基線長の変化を分析し、新燃岳噴火前後のマグマ溜まりの膨張・伸縮・再膨張のみが捉えられ、特に加久藤カルデラ及び小林カルデラの両カルデラにおいては火山活動に伴う地殻変動が観測されなかったことを明らかにした上で、いずれのカルデラもマグマが供給されていないと考えられることから、大規模な噴火に至る状態にはないと推定される旨の知見を示している【乙 120・29～32 頁】。

---

抵抗領域を黒のハッチで示しているところ、低比抵抗領域は、新燃岳等の火口近傍（マグマ溜まりからの火道と考えられる）を除き、上面で深さ約 10km である。②図では、白色が低比抵抗領域を示すところ、群発地震発生領域では深さ 10km 程度までにおいて、低比抵抗領域は認められない。





加久藤カルデラ GPS連続観測による基線長変化(2004年03月15日~2014年03月29日)

図12 加久藤・小林カルデラにおけるGPS観測結果<sup>10</sup>

以上の他、加久藤・小林カルデラの地下浅所における大規模なマグマ溜まりの存否について検討した知見は見当たらず、加久藤・小林カルデラに破局的噴火を起こし得るマグマ溜まりが存在する可能性は低いと考えられる。

#### 4 小括

被告は、上記1ないし3を総合的に考慮して、加久藤・小林カルデラにおい

<sup>10</sup> 図12の説明：加久藤・小林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った場合には、地表の水平距離は伸びる（プラスの値）ところ、図12では大きな変化は見られない。

て、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と評価した。

## 第6 阿多カルデラについて

### 1 破局的噴火の噴火間隔について

阿多カルデラは、最後の破局的噴火（阿多噴火）から約10.5万年が経過しているが、阿多噴火とその前の破局的噴火（阿多鳥浜噴火）は約14万年の間隔があったことから、経過時間は、破局的噴火の噴火間隔に比べて十分に短い（町田・新井編(2011)【乙97】，Nagaoka(1988)【乙103】，川辺・阪口(2005)【乙216】，藤野・小林(1997)【乙217】，奥野ほか(1995)【乙218】，日本の第四紀火山カタログ(1999)【乙219】）ため、運用期間中に破局的噴火が発生する可能性が低いことに関する積極的な事情として考慮した（図13）。

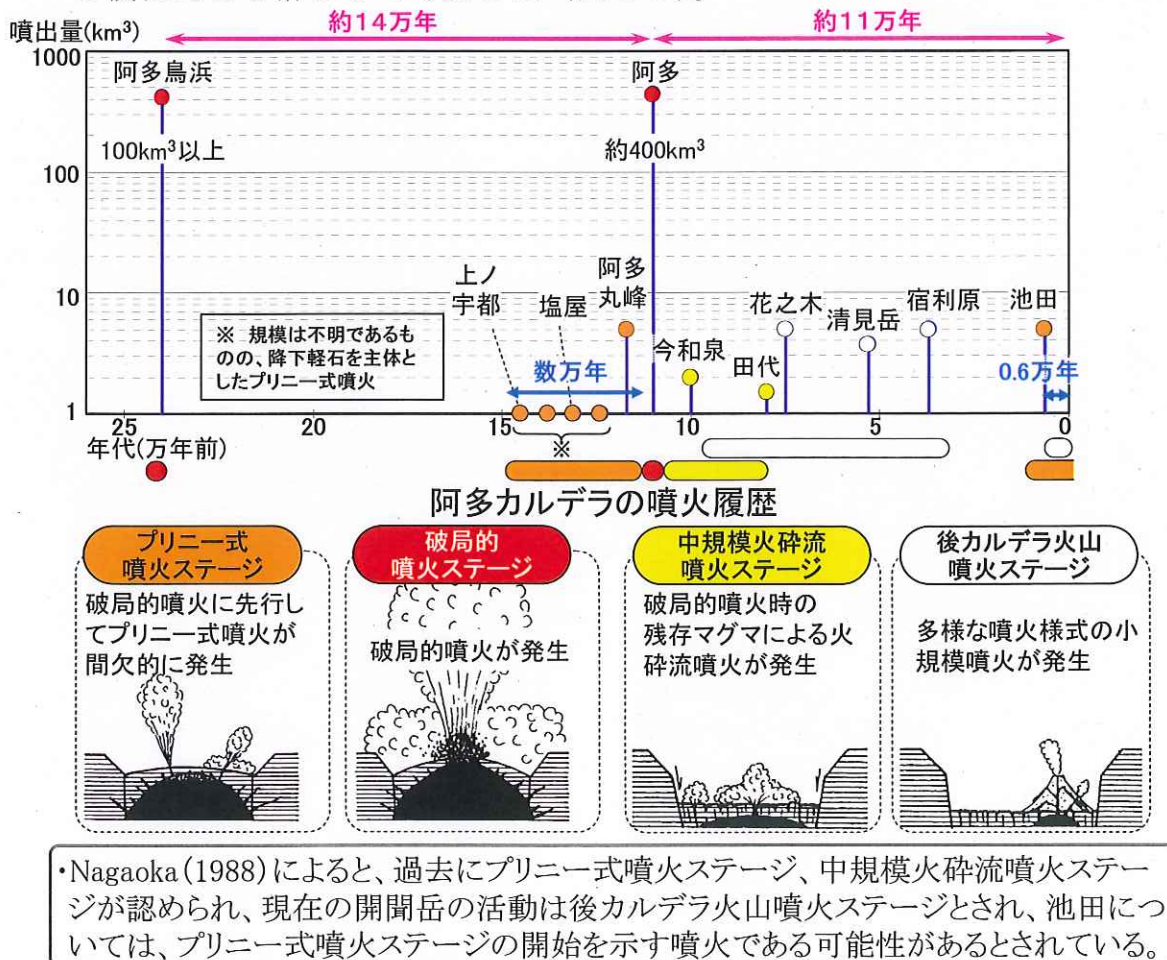


図13 阿多カルデラにおける噴火履歴

また、上述したように、鹿児島地溝の3カルデラにおける破局的噴火の噴火間隔についても、阿多カルデラにおいて運用期間中に破局的噴火が発生する可能性が低いことに関する積極的な事情として考慮した。

## 2 噴火ステージについて

現在の阿多カルデラにおける噴火活動に関して、開聞岳においては多様な噴火様式の小規模噴火が発生している。池田噴火についてはプリニー式噴火ステージの兆候である可能性があるものの、随所で間欠的なプリニー式噴火が発生しているわけではなく、プリニー式噴火ステージである可能性は低い上に、仮にプリニー式噴火ステージにあるとしても、過去のプリニー式噴火ステージの継続期間は数万年であり、池田噴火からの経過時間(約0.6万年)は十分短い。

また、Nagaoka (1988) においても、現在、阿多カルデラが後カルデラ火山噴火ステージないし初期のプリニー式噴火ステージにあることが示されていることから【乙103・109頁「Fig.48」, 107頁】、被告は、運用期間中にこれらのカルデラで破局的噴火が発生する可能性が低いことに関する積極的な事情の1つとして考慮した。

なお、阿多カルデラは、一般的にも、現在、後カルデラ期にあると考えられており【乙198(日本火山学会第21回公開講座資料)14頁】、被告の評価と整合する。

## 3 マグマ溜まりの状況について

### (1) 被告の主張

阿多カルデラにおいて、地下深さ10kmより十分浅い位置に、大規模な珪長質マグマ溜まりは存在しない。

この点、阿多カルデラの地下浅所における大規模なマグマ溜まりの存否について検討した知見は見当たらない。

### (2) 上記(1)の主張の根拠となる知見

上記(1)の被告の主張は、以下の知見により裏付けられている。

① 西ほか (2001) 【乙 220】

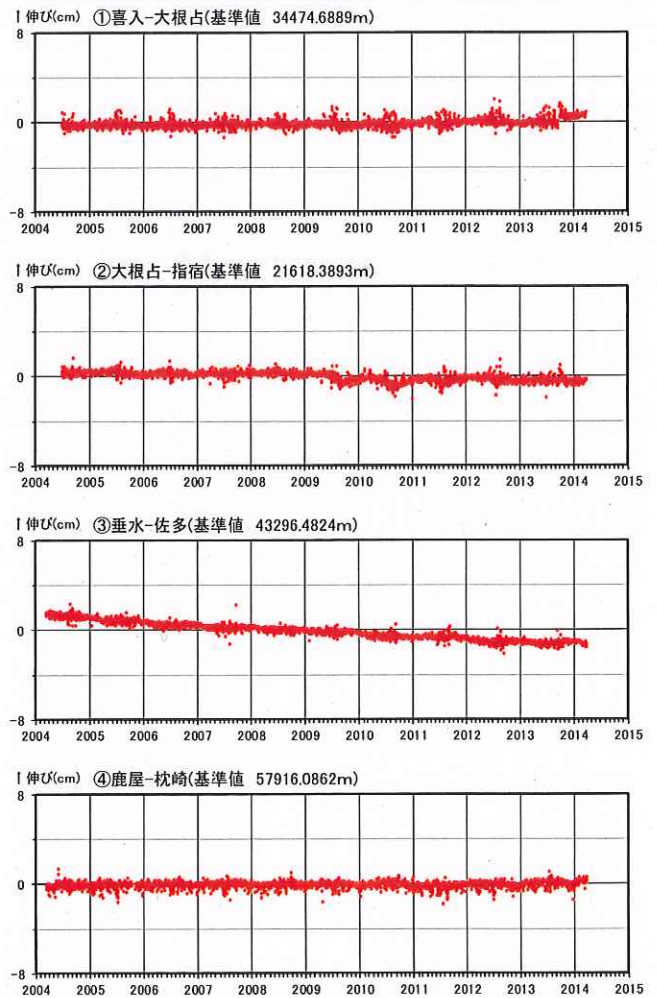
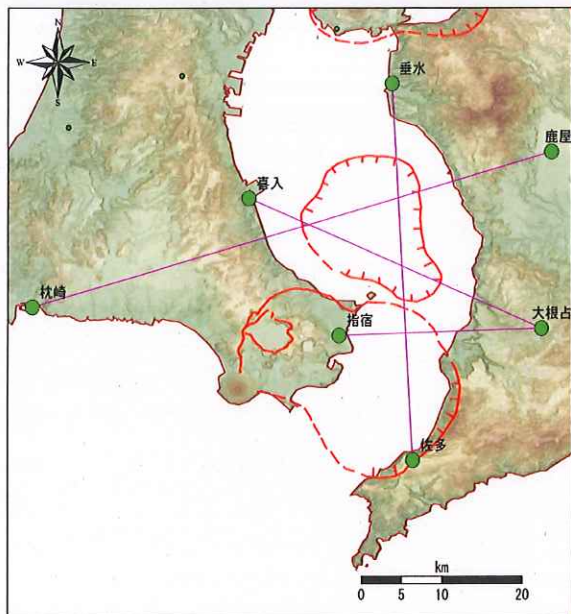
西ほか (2001) は、南九州の火山に関して、地震波トモグラフィー手法による 3 次元速度構造から地震波速度構造についての知見を示すものである。

始良カルデラについては、低速度異常域の存在を指摘するとともに、一般に知られている地殻変動の力源 (マグマ溜まり) との関係について考察がなされているのに対して、阿多カルデラについては、熱水活動に関連する低速度異常域の存在が指摘されるのみであり、マグマ溜まり等に関する言及はなされていない【乙 220・574~575 頁】。

② 大倉 (2017) 【乙 120】

大倉 (2017) は、上述したとおり、測地学的手法による観測によって得られた地殻変動のデータを基に、阿多カルデラその他の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 (2017) は、阿多カルデラ周辺の GEONET 観測点における 2004 年~2011 年の基線長の変化等を分析し、始良カルデラの膨張の影響と考えられる基線変化のみが捉えられ、阿多カルデラにおいては火山活動に伴う地殻変動が観測されなかったことを明らかにした上で、阿多カルデラにはマグマが供給されていないと考えられることから、大規模な噴火に至る状態にはないと推定される旨の知見を示している【乙 120・30~32 頁】。



阿多カルデラ GPS連続観測による基線長変化(2004年03月15日～2014年03月29日)

図14 阿多カルデラにおけるGPS観測結果<sup>11</sup>

以上の他、阿多カルデラの地下浅所における大規模なマグマ溜まりの存否について検討した知見は見当たらず、阿多カルデラに破局的噴火を起こし得るマグマ溜まりが存在する可能性は低いと考えられる。

#### 4 小括

被告は、上記1ないし3を総合的に考慮して、阿多カルデラにおいて、運用

<sup>11</sup> 図14の説明：阿多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った場合には、地表の水平距離は伸びる（プラスの値）ところ、図14では大きな変化は見られない。

期間中に破局的噴火が発生する可能性は極めて低いと評価した。

## 第7 鬼界カルデラについて

### 1 破局的噴火の噴火間隔について

鬼界カルデラは、最後の破局的噴火（アカホヤ噴火）から約7300年が経過しているが、小アビ山噴火と葛原噴火の間隔は約5万年、葛原噴火とアカホヤ噴火の間隔は約9万年であり、経過時間は、破局的噴火の噴火間隔に比べて十分に短い（町田・新井(2011)【乙97】，小野ほか(1982)【乙221】，小林ほか(2010)【乙104】，前野・谷口(2005)【乙222】）ため、運用期間中に破局的噴火が発生する可能性が低いことに関する積極的な事情として考慮した（図15）。

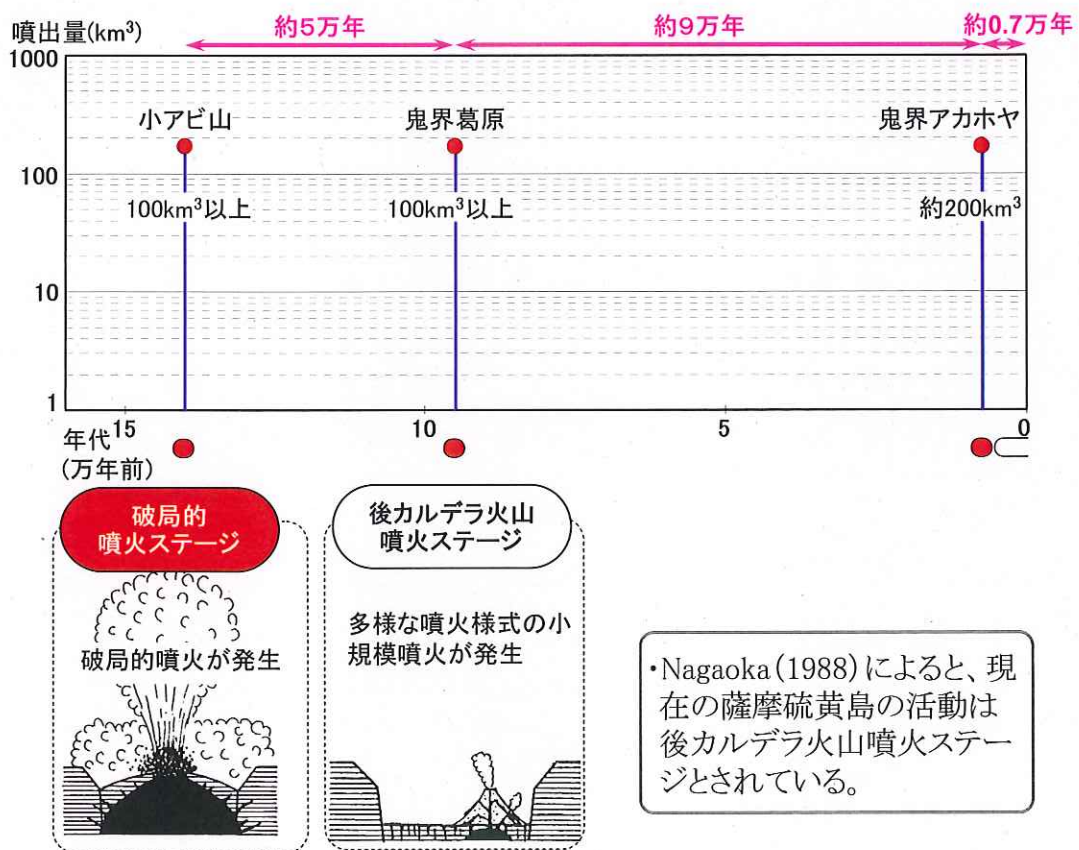


図15 鬼界カルデラにおける噴火履歴

### 2 噴火ステージについて

現在の鬼界カルデラにおける噴火活動は、薩摩硫黄島において多様な噴火様

式の小規模噴火が発生しているのみであり、破局的噴火ステージにあると評価すべき事情が存しない上に、Nagaoka (1988) においても、現在、後カルデラ火山噴火ステージにあることが示されている【乙 103・109 頁「Fig.48」, 107 頁】ことから、被告は、運用期間中に鬼界カルデラで破局的噴火が発生する可能性が低いことに関する積極的な事情として考慮した。

なお、鬼界カルデラは、一般的にも、現在、後カルデラ期にあると考えられており【乙 198 (日本火山学会第 21 回公開講座資料) 14 頁】、被告の評価と整合する。

### 3 マグマ溜まりの状況について

#### (1) 被告の主張

鬼界カルデラにおいて、地下深さ 10km よりも十分浅い位置に、大規模な珪長質マグマ溜まりは存在しない。

鬼界カルデラにおいて約 7300 年前のアカホヤ噴火の時に蓄積されていた流紋岩質マグマについては出尽くしたと考えられる。その後、破局的噴火を起こし得るような大規模な珪長質マグマ溜まりが形成されるような時間は経過しておらず、現時点でそのような大規模な珪長質マグマ溜まりが形成されている可能性は低い。

また、マグマ溜まりの顕著な増大は認められないことから、破局的噴火が起こるような状態ではないと考えられる。

以下、この点について詳述する。

#### (2) アカホヤ噴火の流紋岩質マグマは出尽くし、その後、破局的噴火を起こすマグマ溜まりが形成されるほどの時間は経過していないこと

##### ア アカホヤ噴火の流紋岩質マグマが出尽くしたことについて

約 7300 年前のアカホヤ噴火時に溜まっていた流紋岩質マグマが出尽くしたことは、前野ほか (2001) 【乙 223】において示されている。

すなわち、前野ほか (2001) は、約 7300 年前のアカホヤ噴火以降の火山活動について、各火山活動における噴出物の地質学的特徴及び岩石学的特徴を分析したものであるが、①硫黄岳前期 (約 5200 年前) の噴出物は、

アカホヤ噴火と同様の特徴を有するのに対して、②稲村岳(約 3600 年～2400 年前)の玄武岩質マグマは、アカホヤ噴火の苦鉄質マグマとは組成的に異なり、また、③硫黄岳後期(約 2200 年前～)の流紋岩質マグマは、アカホヤ噴火及び硫黄岳前期の流紋岩質マグマとは全岩化学組成が異なるという結果を示した【乙 223・272～273 頁】。

この結果を基に、前野ほか(2001)は、図 1 6 を示して、①硫黄岳前期の活動において、アカホヤ噴火の残存マグマが爆発的な噴火を伴いながら硫黄岳を成長させ(図 1 6 (b))、珪長質マグマが出尽くし(なお、安山岩質マグマの残存は不明であるため波線で記されている)(図 1 6 (c))、②稲村岳の活動において、新しい苦鉄質マグマが供給され(図 1 6 (d))、これが熱源となり地殻を融解して新たな流紋岩質マグマを生み出して、③硫黄岳後期の活動において、硫黄岳前期の活動と異なる流紋岩質マグマを噴出した(図 1 6 (e))との考えを示している【乙 223・272～274 頁】。

以上より、約 7300 年前のアカホヤ噴火の時に蓄積されていた流紋岩質マグマについては、硫黄岳前期の活動(約 5200 年前)までに出尽くしたと考えられ、現在の流紋岩質マグマの大部分は、稲村岳の活動期(約 3600 年～2600 年前)以降に生成されたものであると考えられる。



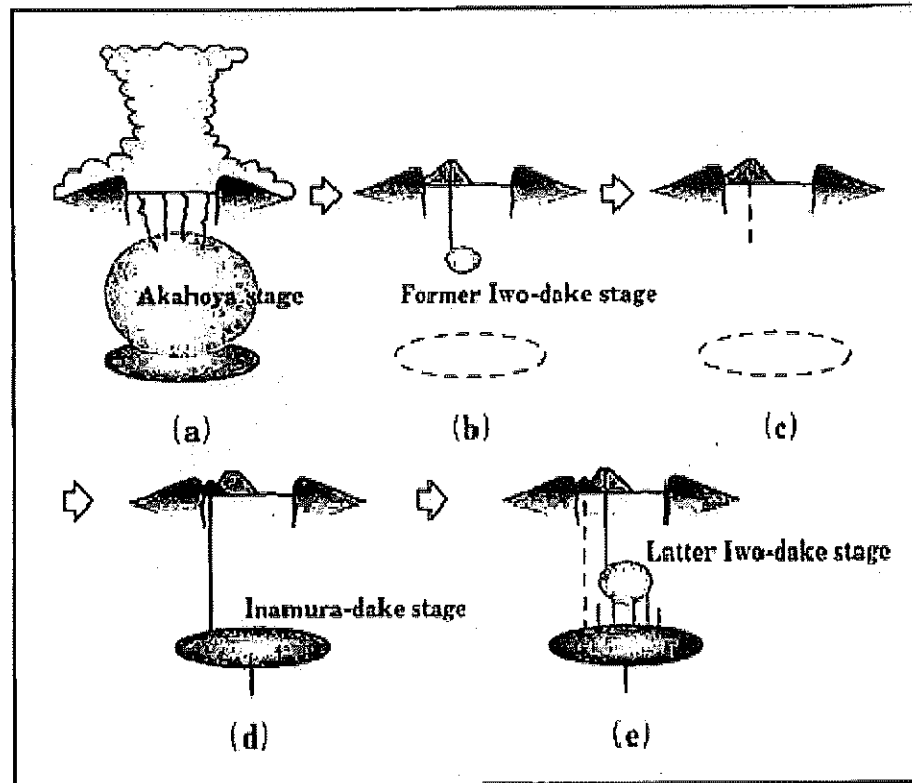


図 1 6 アカホヤ噴火以降の鬼界カルデラのマグマ溜まりの変遷  
(前野ほか (2001) より抜粋)

イ 現時点で破局的噴火を起こすほどの大量の流紋岩質マグマが溜まっている可能性は低いこと

上記アで述べたように、約 7300 年前のアカホヤ噴火の時に蓄積されていた流紋岩質マグマは、硫黄岳前期の活動(約 5200 年前)までに殆ど出尽くし、現在の流紋岩質マグマの大部分は、稲村岳の活動期(約 3600 年～2600 年前)以降に生成されたものであると考えられる。

鬼界カルデラにおける破局的噴火の間隔が、約 5 万年(「小アビ山」と「鬼界葛原」)及び約 9 万年(「鬼界葛原」と「鬼界アカホヤ」)であること等を考え合わせると、アカホヤ噴火時の流紋岩質マグマが出尽くした後、破局的噴火を起こすほど大規模な流紋岩質マグマ溜まりが形成されるような時間は経過しておらず、現時点でそのようなマグマ溜まりが存在する可能性は低いと考えるのが合理的である。

前野（2014）【乙 101・62 頁】の「鬼界カルデラは 7300 年前にアカホヤ噴火をおこしており、それまでの履歴を考慮すると、この場所で次のカルデラ噴火がすぐに到来するとは考えにくいかもしれない」との見解も同趣旨であり、被告の評価の合理性を裏付けている。

(3) マグマ溜まりの顕著な増大は認められないこと

鬼界カルデラに関して、国土地理院による電子基準点データに基づく被告の解析結果では、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【乙 224（平成 28 年度火山活動のモニタリング評価結果）】。

また、井口ほか（2002）【乙 225（鬼界カルデラの地殻変動）】は、硫黄島などに設置された GPS の観測結果について、鬼界カルデラ周辺では顕著な膨張は検出されておらず、少なくとも最近数年間には鬼界カルデラには深部からの新たなマグマの供給はないと判断できる旨の知見が示されている【乙 225（鬼界カルデラの地殻変動）30～31 頁】。

これらの知見からも、鬼界カルデラに破局的噴火を起こし得るマグマ溜まりが存在する可能性が低いと考えられる。

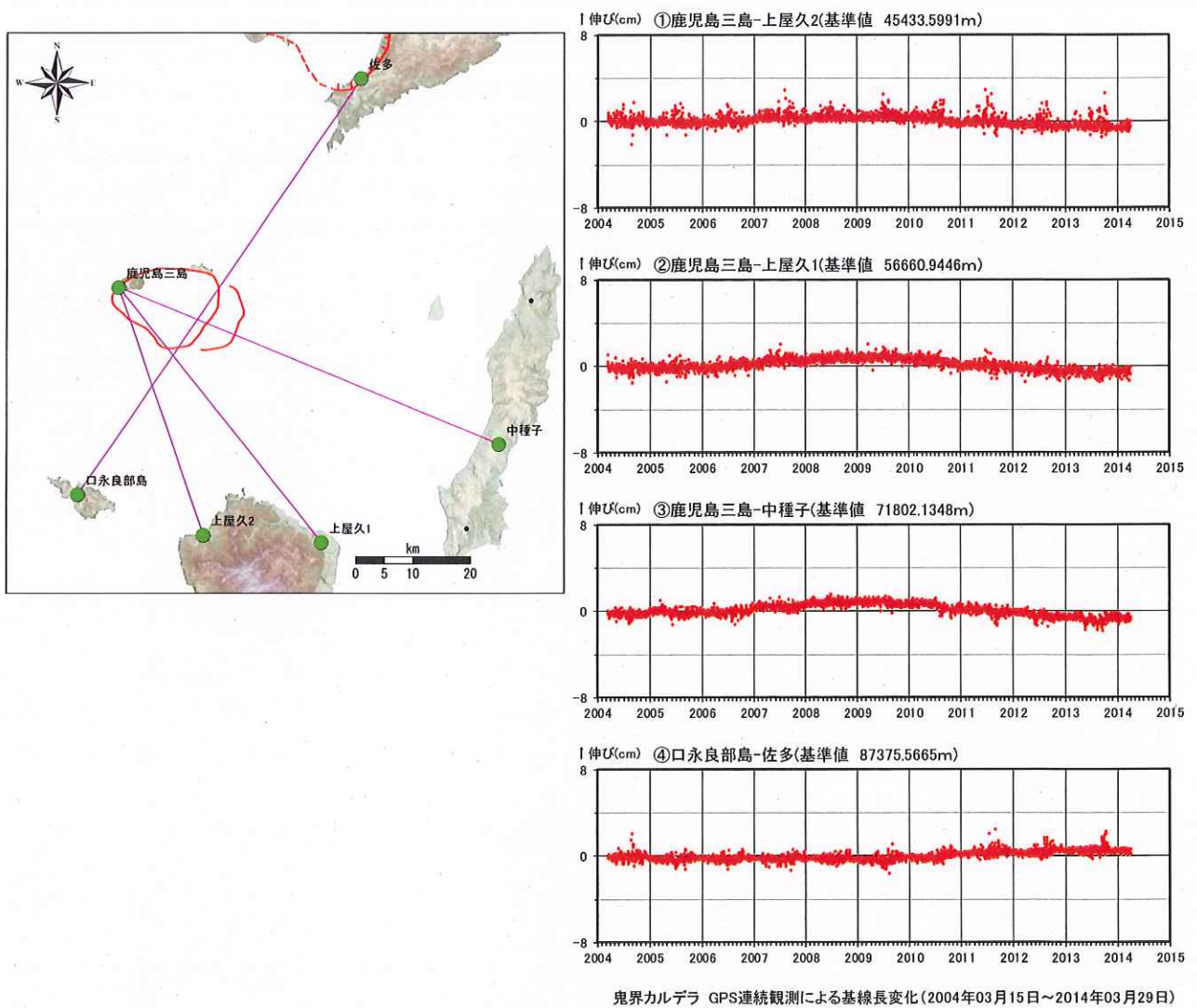


図 1 7 鬼界カルデラにおける GPS 観測結果<sup>12</sup>

#### 4 小括

被告は、上記 1 ないし 3 を総合的に考慮して、鬼界カルデラにおいて、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と評価した。

<sup>12</sup> 図 1 7 の説明：鬼界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った場合には、地表の水平距離は伸びる（プラスの値）ところ、図 1 7 では大きな変化は見られない。

## 第8 阿蘇カルデラについて

### 1 破局的噴火の噴火間隔について

阿蘇カルデラは、破局的噴火の最短の噴火間隔が約2万年、平均発生間隔が約5.3万年であるのに対して、最後の破局的噴火からは約9万年が経過している（町田・新井(2011)【乙 97】，小野・渡辺(1983)【乙 226】，松本ほか(1991)【乙 227】，小野ほか(1977)【乙 228】，小野・渡辺(1985)【乙 229】，宮縁ほか(2003)【乙 230】，三好ほか(2009)【乙 231】，須藤ほか(2007)【乙 197】）（図18）。

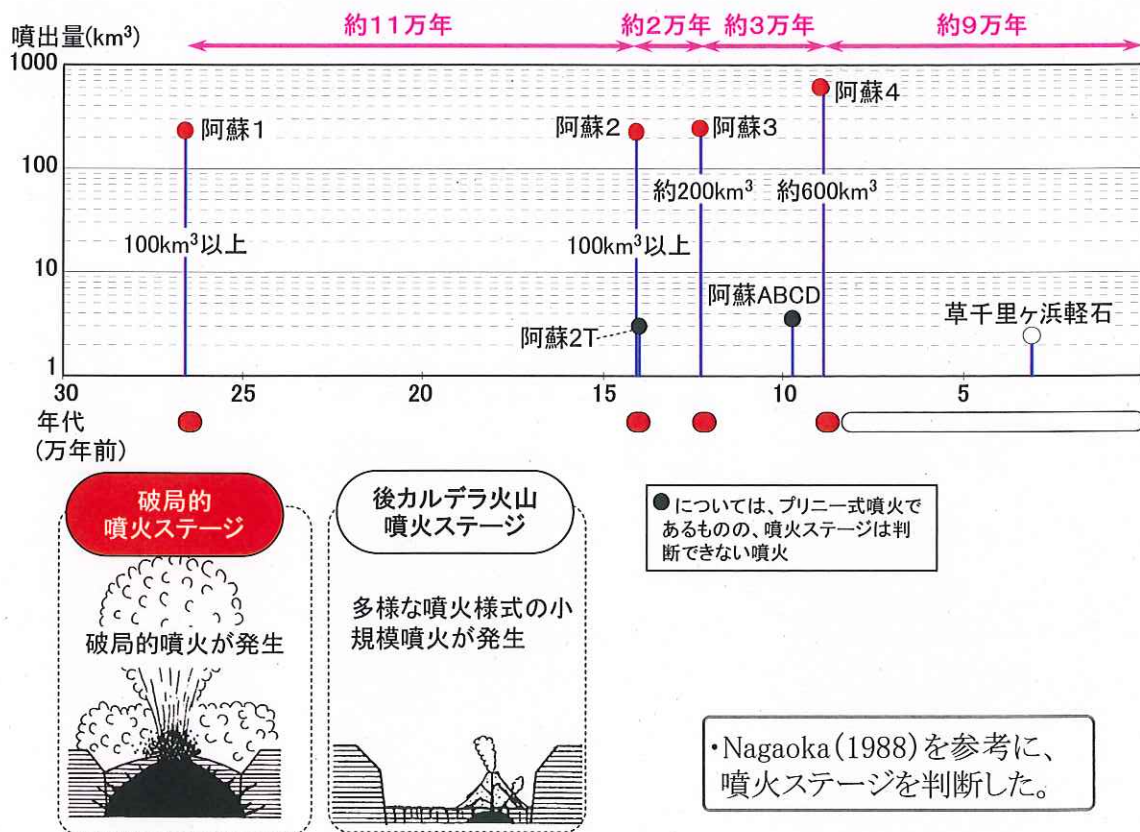


図18 阿蘇カルデラにおける噴火間隔

このことのみからすると、破局的噴火が切迫している可能性があるとの評価もあり得る（その意味では破局的噴火が発生する可能性が低いことに関する消極的な事情として考慮すべきものである）。

しかしながら、以下で述べるように、阿蘇カルデラは、現在、後カルデラ火山噴火ステージにあると考えられ、また、破局的噴火を起こすような大規模な

珪長質のマグマ溜まりは確認されておらず、しかも、基線長の変化も見られずマグマ溜まりの顕著な増大は認められないことから、被告は、運用期間中に破局的噴火が発生する可能性は低いと評価したものである。

## 2 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、最新の破局的噴火以降、阿蘇山において草千里ヶ浜軽石等の多様な噴火様式の小規模噴火が発生しているのみであり、破局的噴火ステージにあると評価すべき事情が存しないことから、後カルデラ火山噴火ステージにあると考えられ、阿蘇カルデラにおいて運用期間中に破局的噴火が発生する可能性が低いことに関する積極的な1つの事情として考慮した。

なお、阿蘇カルデラは、一般的にも、現在、後カルデラ期にあると考えられており【乙198(日本火山学会第21回公開講座資料)14頁、乙116(産業技術総合研究所地質調査総合センターHP)], 被告の評価と整合する。

## 3 マグマ溜まりの状況について

### (1) 総論

準備書面14で述べた通り、阿蘇カルデラにおいて、地下深さ10kmより十分浅い位置に、大規模な珪長質マグマ溜まりは存在しない。

この点、阿蘇カルデラに関しては、カルデラ中央部の地下深さ6km付近にマグマ溜まりがあると考えられており、下記(2)のとおり、破局的噴火を起こし得る大規模な珪長質マグマ溜まりではない。

また、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(図19)。

従って、阿蘇カルデラにおいて、破局的噴火を起こし得るようなマグマ溜まりが存在する可能性は低いと考えられ、被告は、運用期間中に破局的噴火が発生する可能性が低いことに関する積極的な事情として考慮した。

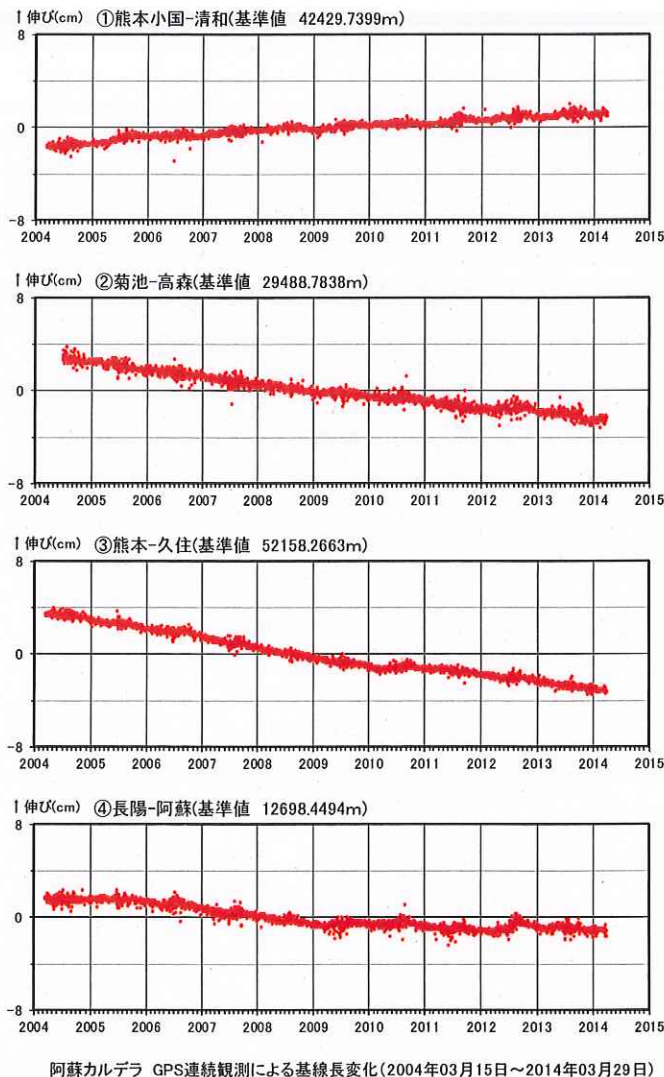
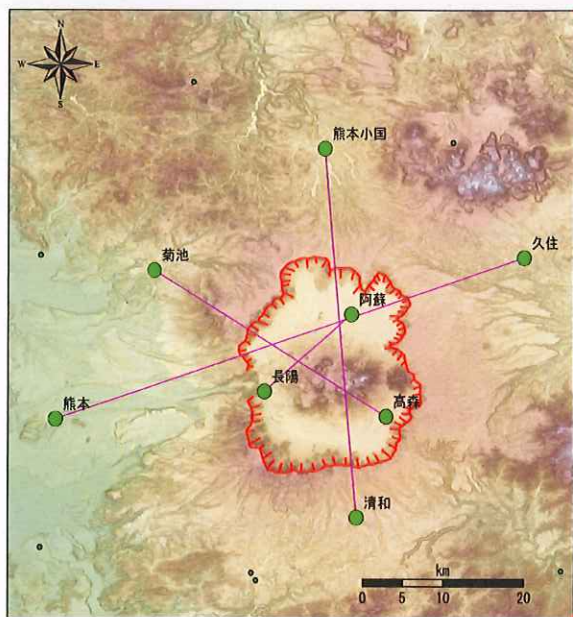


図 1 9 阿蘇カルデラにおける GPS 観測結果<sup>13</sup>

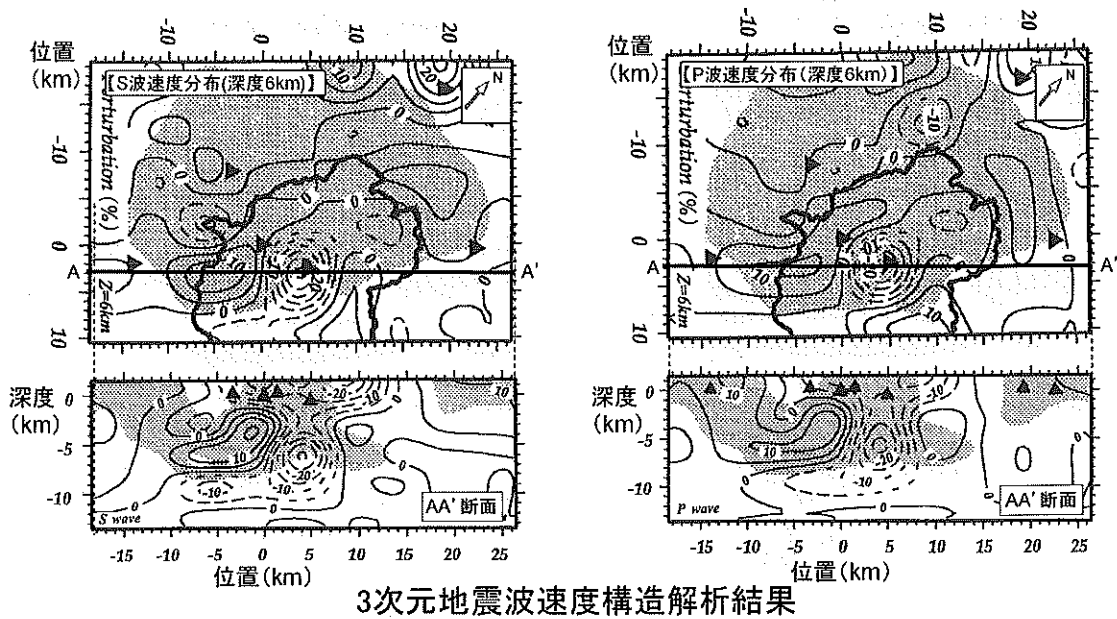
(2) カルデラ中央部の地下深さ 6km 付近のマグマ溜まりについて

阿蘇カルデラのカルデラ中央部の地下深さ 6km 付近にマグマ溜まりがあると考えられている (Sudo and Kong(2001)【乙 117】ほか) (図 2 0) が、珪長質ではなく玄武岩質のマグマ溜まりであり<sup>14</sup> (図 2 1), 大規模なものでは

<sup>13</sup> 図 1 9 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った場合には、地表の水平距離は伸びる (プラスの値) とし、図 1 9 では大きな変化は見られない。

<sup>14</sup> 三好ほか(2005)【乙 115】は、カルデラ中央部に苦鉄質噴出物の火口が分布し、その周辺により珪長質な噴出物の火口が分布する傾向があるとの結果を踏まえて、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、後カルデラ形成期では、カルデラ形成期のような単一の大規模な珪長質マグマ溜まりは存在しなくなった旨の知見を示して

なく、しかも全体として縮小傾向にある<sup>15</sup>ことから、破局的噴火を起こし得る珪長質のマグマ溜まりではない。



〔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6 kmに低速度領域が認められるとしている。

図20 阿蘇カルデラにおける地下構造 (Sudo and Kong, 2001) <sup>16</sup>

いる。また、三好(2012)【乙118】は、過去1万年間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おらず、Sudo and Kong (2001) が指摘するマグマ溜まり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。

- <sup>15</sup> 大倉(2017)【乙120】は、「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m<sup>3</sup> (0.01km<sup>3</sup>) 少なくなっている」旨の知見を示している。
- <sup>16</sup> 図20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に小規模な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。

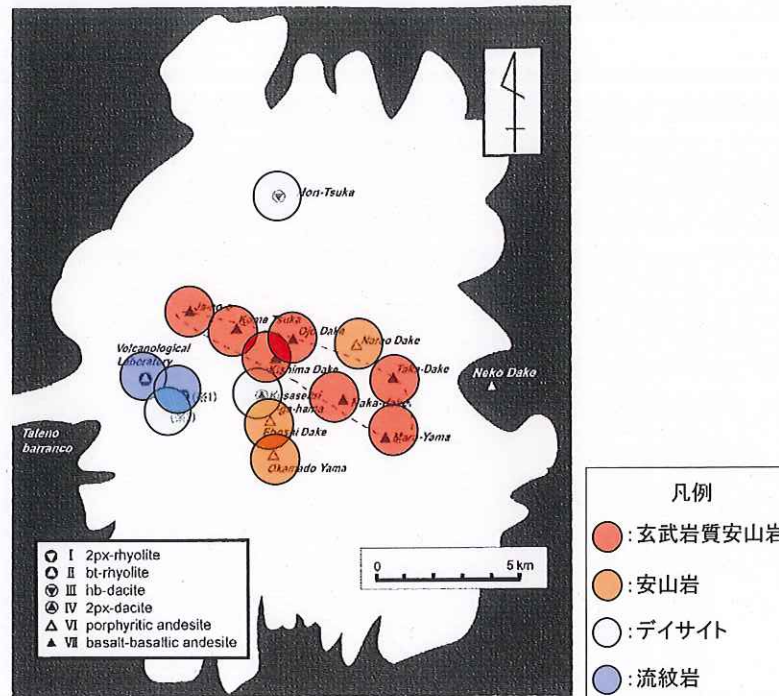


図 2 1 阿蘇カルデラにおける大規模マグマ溜まりの存否 (三好ほか(2005))<sup>17</sup>

#### 4 小括

被告は、上記 1 ないし 3 を総合的に考慮して、阿蘇カルデラにおいて、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と評価した。

なお、阿蘇カルデラの破局的噴火の可能性に関する被告の評価結果は、三好(2018)【乙 232】で示されている知見<sup>18</sup>や、榊原教授の意見書【乙 233】で示されている知見<sup>19</sup>、Dr.Brittain E.Hill の意見書【乙 234】で示されている知見<sup>20</sup>とも

<sup>17</sup> 図 2 1 の説明：後カルデラ火山である阿蘇山において、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 2 1 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。

<sup>18</sup> 「阿蘇カルデラの活動及びマグマ供給系の変遷から、後カルデラ期の最近 1 万年間には、阿蘇カルデラ直下にカルデラ形成期のような巨大な珪長質マグマ溜まりは存在しなかったと考えられる」との知見が示されている。

<sup>19</sup> 「現在の阿蘇火山の状態は、破局噴火を起こすような珪長質で大規模なマグマ溜まりが存在している可能性は非常に低い」「今後、破局噴火を起こすような珪長質の大規模マグマ溜まりを形成するには数千年～数万年の期間を要すると考えられる」との知見が示されている。



整合するものである。

## 第9 火山活動のモニタリングについて

1 上述したように、5つのカルデラ火山において、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、5つのカルデラ火山において破局的噴火が発生する可能性が十分に小さいことを継続的に確認するため、5つのカルデラ火山について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98「玄海原子力発電所 火山について(新規制基準適合性審査資料)」】。

2 各カルデラ火山の直近のモニタリング(評価期間:平成29年4月1日~平成30年3月31日)における評価結果は以下のとおりであり、いずれも「活動状況に変化なし」という結果であった【乙236(モニタリング結果に係る評価について)】。

### ① 始良カルデラ

地殻変動について、マグマ溜まりの膨張を示唆する伸びの傾向が認められるものの、膨張傾向に有意な変化は認められず、また、地震活動について、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」。

### ② 加久藤・小林カルデラ

地殻変動について、3月6日の新燃岳噴火前後で火山活動に起因する地殻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、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」。

### ③ 阿多カルデラ

地殻変動について、有意な変化は認められず、また、地震活動について、7月11日の喜入地震(M5.3)の余震が多数認められるものの、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」。

---

20 「現在の阿蘇火山のマグマシステムは、玄武岩質で小規模であり、阿蘇4タイプの噴火の特徴を有していない」「大規模なマグマの存在や集積を示す物理学的な特徴も認められない」として、「阿蘇4タイプの噴火は、伊方発電所3号機の安全性評価上考慮すべき事象ではない」と結論付けている。

#### ④ 鬼界カルデラ

地殻変動及び地震活動について、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」。

#### ⑤ 阿蘇カルデラ

地殻変動について、熊本地震に伴う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」。

3 上記2の評価結果については、平成30年8月10日に開催された第4回原子炉安全専門審査会原子炉火山部会会合において、原子力規制庁から妥当と判断されている【乙236（モニタリング結果に係る評価について）】。

被告は、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。

### 第10 火山事象の影響評価について

#### 1 評価の概要

被告は、阿蘇カルデラを含めた5つのカルデラ火山について、上述した評価を行い、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、被告は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、野稻火山群、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98（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、降下火砕物（火山灰等）を除く火山事象（火砕物密度流、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 98（42～44 頁，54～56 頁）】。

また、降下火砕物（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、降下火砕物（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 98（45～53 頁）】。以下、降下火砕物の影響評価の詳細について述べる。

## 2 降下火砕物の影響評価

### (1) 想定した噴火

降下火砕物につき、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（始良カルデラ：約 1.3 万年前の桜島薩摩噴火（VEI6）、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）、阿多カルデラ：約 0.6 万年前の池田噴火（VEI5）、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）、阿蘇カルデラ：約 3.0 万年前の阿蘇草千里ヶ浜噴火（VEI5））、その他の 16 火山については既往最大規模の噴火）の中で本件原子力発電所付近に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 22，23）。

なお、原告らは、被告の行った影響評価について、始良カルデラ及び鬼界カルデラにおける破局的噴火による降灰を想定していないため、火山ガイドに反し不合理である旨を主張するが、上述したとおり、被告は、これらのカルデラ火山において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と評価した上で、5 つのカルデラ火山の現在の各噴火ステージにおける既往最大規模の噴火を想定したものであり、何ら火山ガイドに反するものではない。

また、原告らは、阿蘇カルデラについて、現在「30 km<sup>3</sup>」程度のマグマ溜まりが存在し、VEI6 規模の噴火が発生した場合の噴出量は、被告の評価の約 2

倍近くになるため過小評価である旨を主張する。

しかしながら、噴出可能なマグマは、マグマ溜まりのうち結晶量が低く溶融体が大部分を占める部分である【乙 237 (東宮(2016)) 283~285 頁】ところ、上記マグマ溜まりの溶融率は「数%以上」とされており【甲 107 (須藤(2006))】、そもそも噴出可能なマグマは数 km<sup>3</sup> 程度に過ぎない上に、マグマの噴出に必要な圧力の観点からは噴出できるマグマの量はマグマ溜まり全体の体積のうちごく少量である【乙 238 (青木(2016))】のであり、原告らの主張は不合理である。

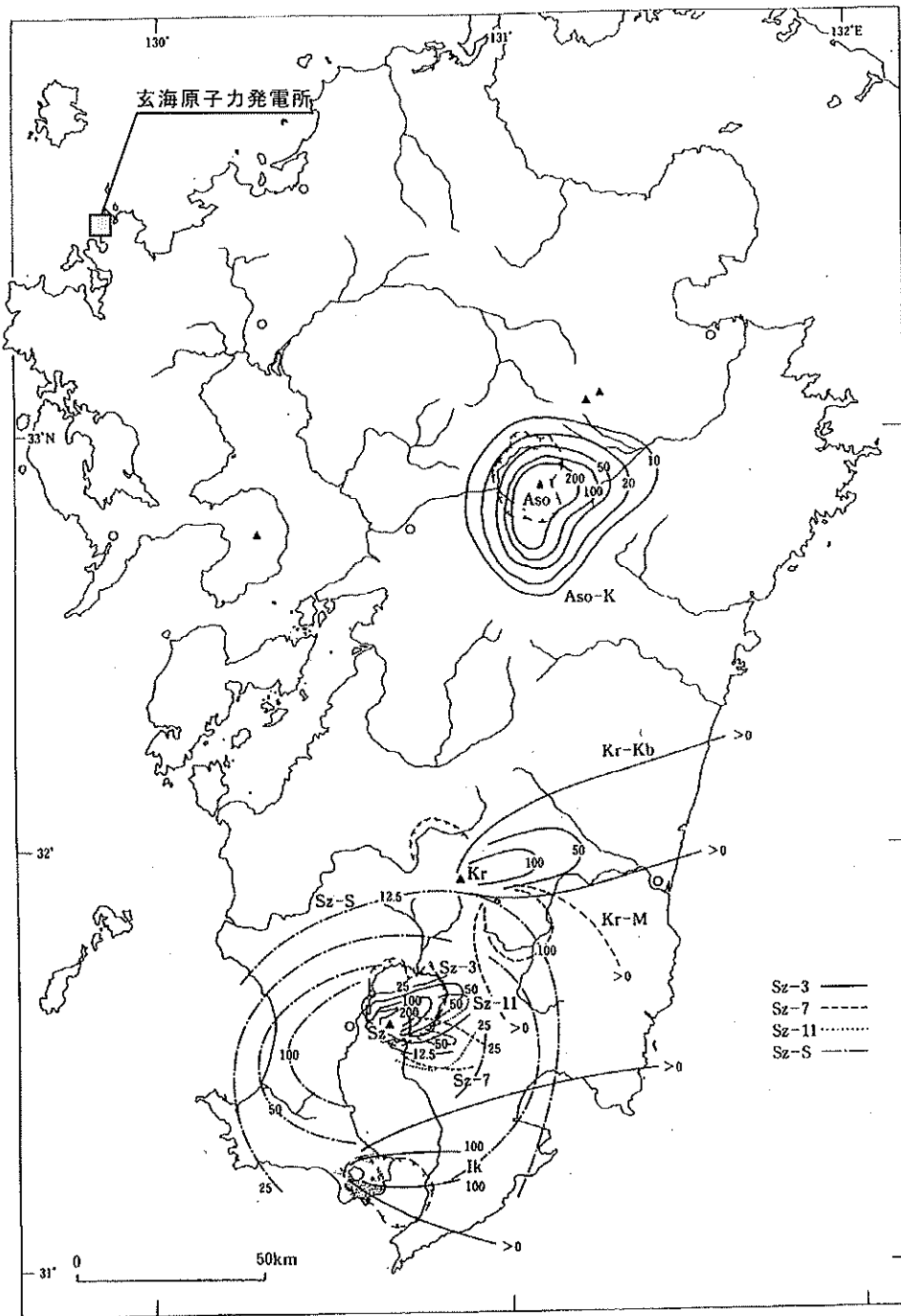


図 3.1-1 九州地方の約 3 万年前以降の主要テフラの等層厚線図。

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)<sup>1)</sup> Kr-M 霧島御池<sup>2)</sup> Sz-7 桜島 7<sup>1)</sup> Ik 池田湖 (pH の分布も示す)<sup>3)</sup> Sz-11 桜島 11<sup>1)</sup>

Sz-S 桜島薩摩<sup>2)</sup> Kr-Kb 霧島小林 Aso-K 阿蘇草千里浜<sup>4)</sup> Aso:阿蘇, Kr:霧島, Sz:桜島。

〔1〕小林哲 (1986), 2) 木野・太田 (1977), 3) 宇井 (1987), 4) 高田 (1989), 5) 小林・瀧池 (2002)〕

図 2 2 約 3 万年前以降の主要な降下火砕物の分布

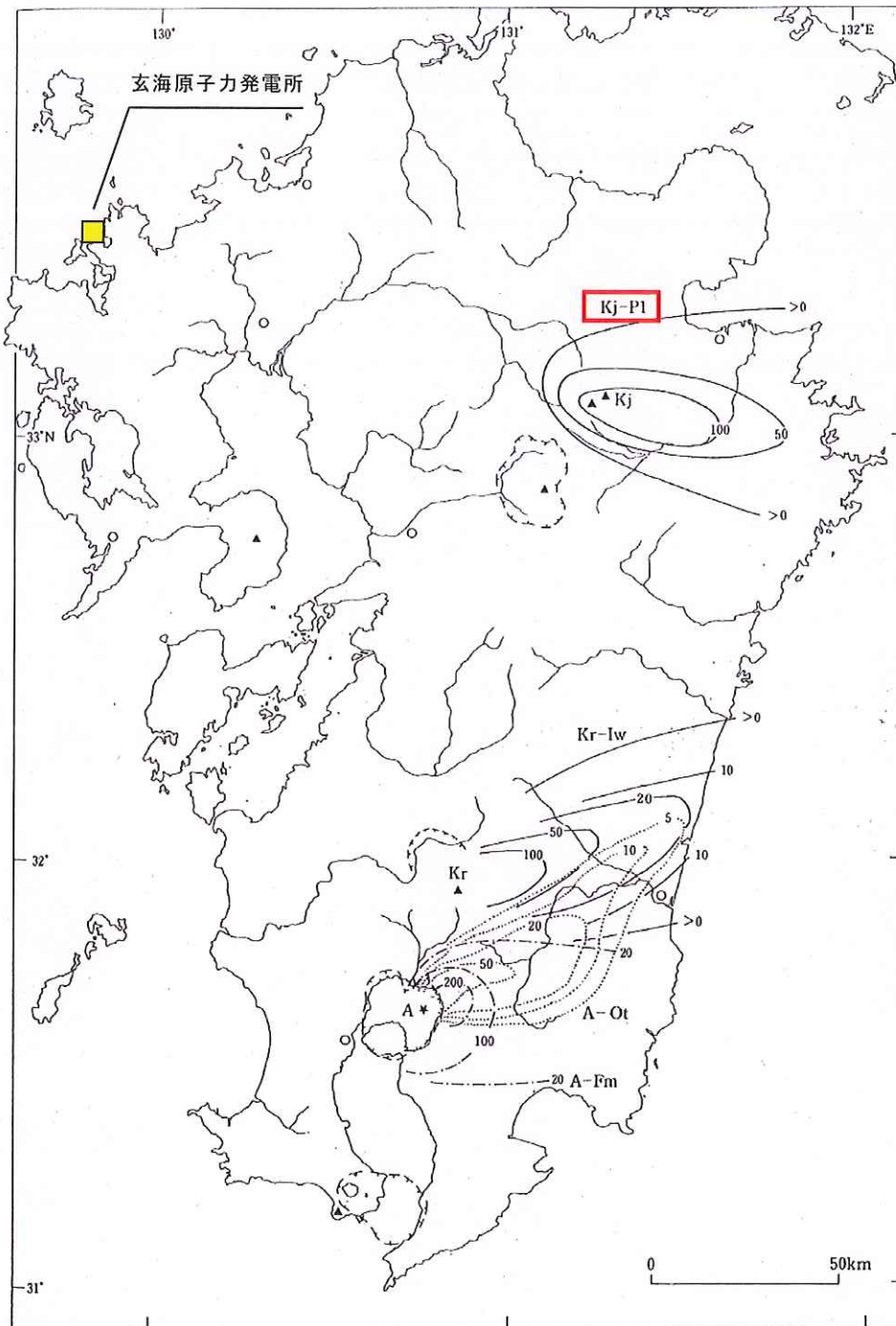


図 3. 1-2 九州地方の 3 万～5 万年前の主要テフラの等層厚線図。

A-Fm 始良深港<sup>1)</sup>      A-Ot 始良大塚<sup>2)</sup>      Kr-Iw 霧島イワオコシ<sup>3)</sup>と一部修正  
 Kj: 九重, Kr: 霧島, A: 始良。

**Kj-P1 九重第 1**

[1] 長岡ほか (2001), 2) Nagaoka (1988), 3) 長岡 (1984)]

図 2 3 3 万～5 万年前の主要な降下火砕物の分布状況

## (2) 想定した降下火砕物の層厚

被告は、九重第1噴火を想定し、文献調査、地質調査及びシミュレーション調査を行って、降下火砕物の層厚を「10cm」と評価した【乙99(67頁)】。

すなわち、文献調査及び地質調査として、町田・新井(2011)【乙97(117頁)】においては、九重第1噴火における降下火砕物は、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23)。

そして、シミュレーション調査として、被告は、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。

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、被告は、降下火砕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。

## (3) 設備に対する影響評価

被告は上記のとおり安全側に想定した層厚10cmの降下火砕物(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、被告は、降下火砕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、降下火砕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、被告は、降下火砕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、降下火砕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99(68~72頁)】。

加えて、被告は、火山影響等発生時<sup>21</sup>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平成 29 年 11 月に新設<sup>22</sup>するなど、降下火砕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。

なお、原告らは、非常用ディーゼル発電機の連続運転期間に関して、7 日以内に外部電源が復旧する保証はない旨を主張するが、被告は、福島第一原子力発電所事故において発電機の燃料供給に 3 日程度を要したことを踏まえて【乙 239（実用発電用原子炉に係る新規制基準の考え方について）185 頁】、新規制基準に基づき、7 日間の連続運転について評価したものであり、十分に保守性を有するものである。

### 3 小括

以上のとおり、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。

#### 第 1 1 結論

以上のとおり、本件原子力発電所の運用期間中に、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く、本件原子力発電所の火山事象に対する安全性は確保されている。

以 上

<sup>21</sup> 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。

<sup>22</sup> 降下火砕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、高濃度の降下火砕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。