

## 目 次

第1	総論.....	3
第2	本件原子力発電所に影響を及ぼし得る火山の抽出.....	3
第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....	3
1	評価の概要.....	3
2	5つのカルデラ火山の破局的噴火の可能性の評価.....	4
(1)	破局的噴火とは.....	4
(2)	破局的噴火の可能性の評価方法.....	5
①	カルデラ火山の噴火間隔.....	5
②	噴火ステージ.....	7
③	マグマ溜まりの状況.....	8
(3)	各カルデラ火山の破局的噴火の可能性の評価.....	11
①	始良カルデラ.....	11
②	加久藤・小林カルデラ.....	15
③	阿多カルデラ.....	19
④	鬼界カルデラ.....	21
⑤	阿蘇カルデラ.....	25
3	火山事象の影響評価.....	30
第4	火山活動のモニタリング.....	31
1	序論.....	31
2	モニタリングの方法と体制.....	32
3	監視レベルと移行判断基準.....	34
第5	結論.....	36

## 第1 総論

- 1 被告九州電力は、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<sup>1</sup>（始良，加久藤・小林，阿多，鬼界，阿蘇）が本件原子力発電所の運用期間中<sup>2</sup>に破局的噴火<sup>3</sup>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た。
- 2 また、被告九州電力は、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。
- 3 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。

## 第2 本件原子力発電所に影響を及ぼし得る火山の抽出

- 1 被告九州電力は、（火山ガイドに従って）文献調査及び地形・地質調査を行い、第四紀火山（約260万年前から現在までに活動した火山）の噴出物の分布等を把握して、地理的領域（半径160kmの範囲）<sup>4</sup>に存在する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（始良，加久藤・小林，阿多，鬼界）も抽出した。

そして、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つのカルデラ火山を含む21火山を抽出した【乙イB31（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））3～8頁】。

## 第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「第2」で抽出した21火山のうち、過去に破局的噴火を発生した

5つのカルデラ火山（始良，加久藤・小林，阿多，鬼界，阿蘇）については，後記2で述べるとおり，運用期間中に破局的噴火を起こす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を考慮した【乙イB31（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））11～36頁】。

## 2 5つのカルデラ火山の破局的噴火の可能性の評価

### （1）破局的噴火とは

破局的噴火とは， $100\text{km}^3$ 以上の噴出物を伴う噴火のことをいう（図1）。

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」（ $1 \times 10^8\text{km}^3$ 以上）までに分類するものであるが，破局的噴火はVEI7以上の噴火である。

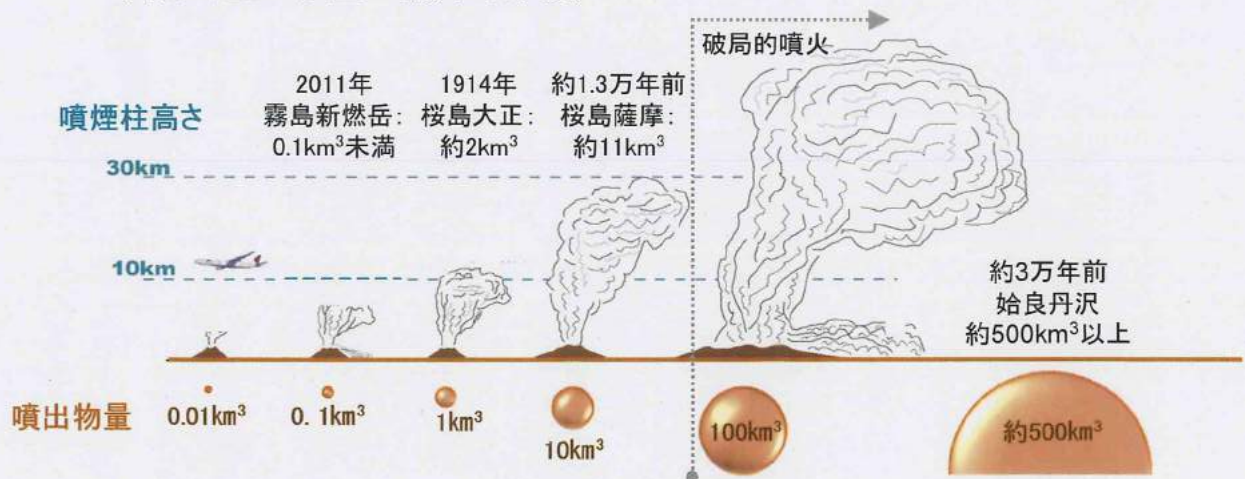


図1 破局的噴火の噴火規模

表 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 <sup>3</sup> )	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【乙イA45(町田・新井(2011)10頁)】。噴出物総体積は噴出物量のこと。

破局的噴火は、日本列島の火山において数万年から十数万年に1回程度の極めて頻度の低い火山事象である。

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57名)はVEI1~2であり、破局的噴火は、これらの噴火の数千倍~数十万倍以上の超巨大な噴火である。

仮に、現時点で阿蘇カルデラにおいて破局的噴火が起きた場合には、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以上の厚い火山灰で覆われて、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【乙イB32(高橋正樹「破局噴火」)196~205頁】。

## (2) 破局的噴火の可能性の評価方法

被告九州電力は、5つのカルデラ火山の破局的噴火の可能性について、①カルデラ火山の噴火間隔、②噴火ステージ、③マグマ溜まりの状況の3つの観点から総合的に評価を行った。

### ① カルデラ火山の噴火間隔

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。

イ 被告九州電力は、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2）。

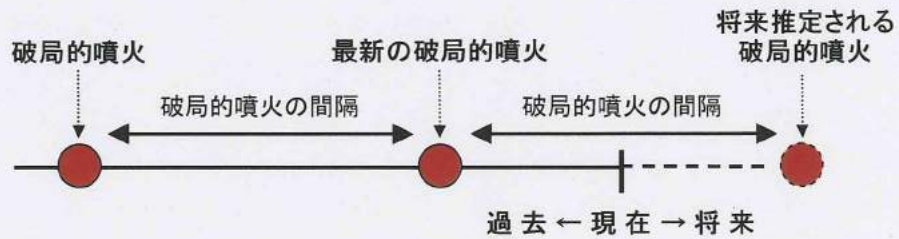


図2 噴火間隔

【図2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 また、被告九州電力は、鹿児島地溝<sup>5</sup>にあるカルデラ火山（始良，加久藤・小林，阿多）全体としての噴火間隔についても検討したが、階段ダイヤグラム（噴出物量と時間との関係図）の傾きは過去60万年にわたって一定しており、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（図3）。

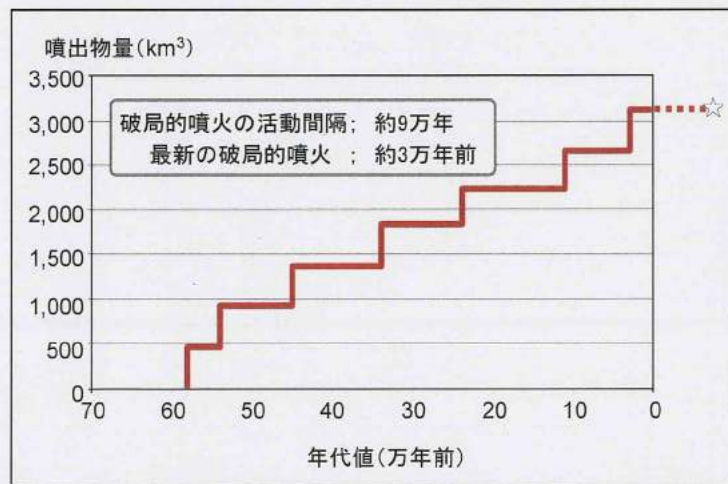


図3 鹿児島地溝における破局的噴火の噴火間隔

【図3の説明：「噴火の規模（噴出物量）」と「噴火の時期」との関係を示したものであり、噴火の規模と間隔がそれぞれ階段の垂直及び水平のステップにより表現される。】

周期性を有する要因は、鹿児島地溝が1000万年前から始まった沖縄トラフの形成や地殻変動と関連して形成されたものであり、この地溝構造の形成と同時に火山活動が活発化し、各カルデラが出現したとされている【乙イB33（小林・矢野（2007）<sup>6</sup>）11頁】ことからすれば、鹿児島地溝にあるカルデラについては、共通するマグマ供給システムが存すると考えられる。

鹿児島地溝にあるカルデラ火山（始良，加久藤・小林，阿多）における最新の破局的噴火は、約3万年前ないし2.8万年前の始良カルデラであるから、破局的噴火の噴火間隔である約9万年は、最新の破局的噴火からの経過時間に比べて十分長く、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。

## ② 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<sup>7</sup>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）<sup>8</sup>は、詳細な地質調査（テフラ<sup>9</sup>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砕流を噴出する「中規模火砕流噴火ステージ」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<sup>10</sup>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4）【乙イB34（Nagaoka(1988)）105～117頁】。



図4 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【始良カルデラについて、乙イB35（小林ほか（2010）<sup>11</sup>）271～272頁。鬼界カルデラについて、乙イB36（前野（2014）<sup>12</sup>）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、始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。

### ③ 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（ $\text{SiO}_2$ ：珪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5）、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【乙イA46（荒牧（2003）<sup>13</sup>）9頁】。

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

図5 マグマの SiO<sub>2</sub> と密度 (【乙イA47(兼岡・井田(1997)<sup>14</sup>)】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(珪長質マグマは深さ 7km 以浅)へと移っていく傾向があるとされる(図6)【乙イA48(東宮(1997)<sup>15</sup>)723頁】。そして、破局的噴火の実例に関しても、鬼界カルデラにおける約 7,300 年前の破局的噴火の直前には、深さ 3~7km にかけて巨大な流紋岩質マグマ<sup>16</sup>が存在していたとされ【乙イB37(篠原ほか(2008)<sup>17</sup>)】、また、最近の知見では、海外の事例から破局的噴火前のマグマ溜まりの深さが 3.5~6km であるとの見解【乙イB38(高橋(2014)<sup>18</sup>)】や、始良カルデラの破局的噴火前のマグマ溜まりの深さを従来の 7~10km よりもかなり浅い部分であったとの見解【乙イB39(安田・藤井(2014)<sup>19</sup>)】が示されている。

これらを踏まえると、破局的噴火を発生させる大量の珪長質マグマは、深さ 10km よりも十分浅い位置に分布すると考えられる(図7)。

以上のことから、被告九州電力は、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。



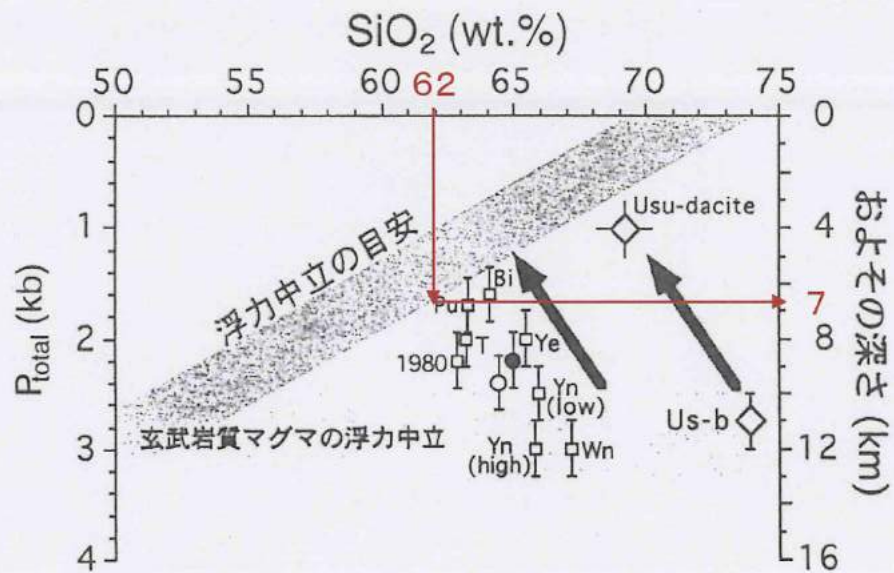


図6 マグマの組成 (SiO<sub>2</sub>) と深度の関係

【図6の説明：マグマ溜まりの「およその深さ」（縦右軸）と「SiO<sub>2</sub>（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5のとおり、珪長質マグマ（デイサイト質～流紋岩質）のSiO<sub>2</sub>は62%以上であることから、図6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。】

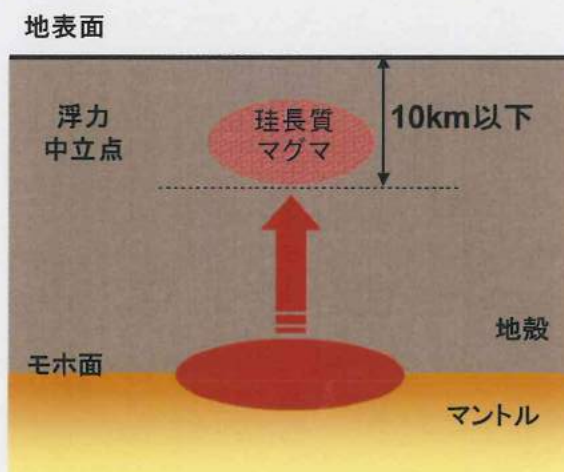


図7 大規模なマグマ溜まりのイメージ

ウ また、Druitt et al. (2012)<sup>20</sup>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年程度の間には急激にマグマが供給されたと推定されている【乙イA49(Druitt et al. (2012))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<sup>21</sup>から推定できる(後記図13において、①の2011年頃に基線長の変化が読み取れるが、これは新燃岳の噴火によるものである。新燃岳の噴火はVEI3の小規模な噴火であるが、それでもこれ程の基線長の変化が表れるのである)ため、被告九州電力は、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) 各カルデラ火山の破局的噴火の可能性の評価

#### ① 始良カルデラ

ア 始良カルデラの噴火間隔については、前述した鹿児島地溝における破局的噴火の噴火間隔に関する検討から、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。

また、図8に示すとおり、始良カルデラにおける破局的噴火の噴火間隔は約6万年以上であるのに対して、現時点は直近の破局的噴火からの経過時間が約3万年であるから、経過時間が破局的噴火の噴火間隔に比べて十分に短く、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。

イ 始良カルデラの噴火ステージについては、現在の始良カルデラにおける噴火活動は、後カルデラ火山である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と考えられ、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。

ウ 始良カルデラにおけるマグマ溜まりの状況については、井口ほか(2011)<sup>22</sup>によると、図9に示すとおり、地殻変動の観測結果から

深さ 6km に桜島のマグマ溜まりが、深さ 12km に始良カルデラ中央部のマグマ溜まりがそれぞれ想定されている【乙イB40（井口ほか（2011））5頁】。

桜島の深さ 6km にあると考えられるマグマ溜まりについては、実際の噴出物の分析から安山岩質のマグマであり、流紋岩質のマグマではない。また、始良カルデラ中央部の深さ 12km にあると考えられるマグマ溜まりについては、深さ 10km より深い位置にあるため、流紋岩質のマグマ溜まりではない（図6参照）。

さらに、図10のとおり、国土地理院による電子基準点<sup>23</sup>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、マグマ溜まりの顕著な増大を示すものではない。

エ 以上により、始良カルデラについては、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される。

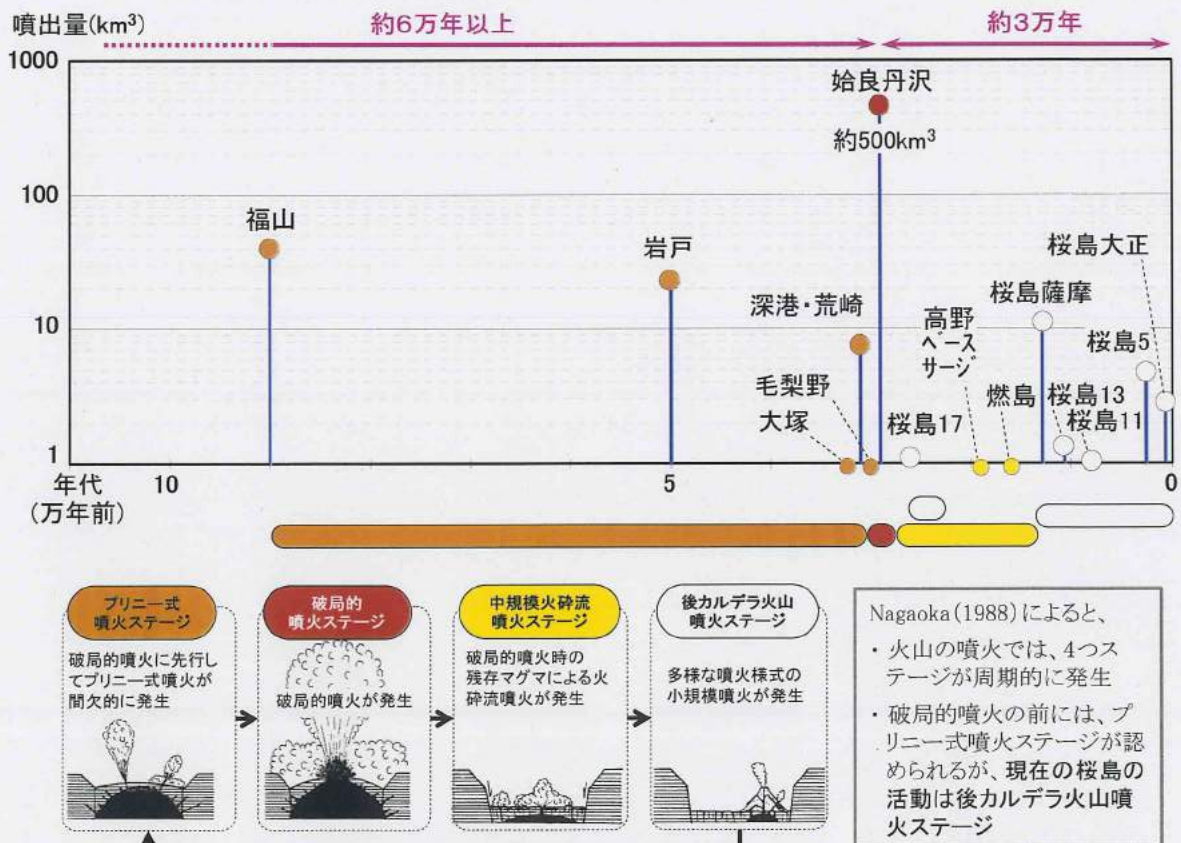


図8 始良カルデラの噴火履歴

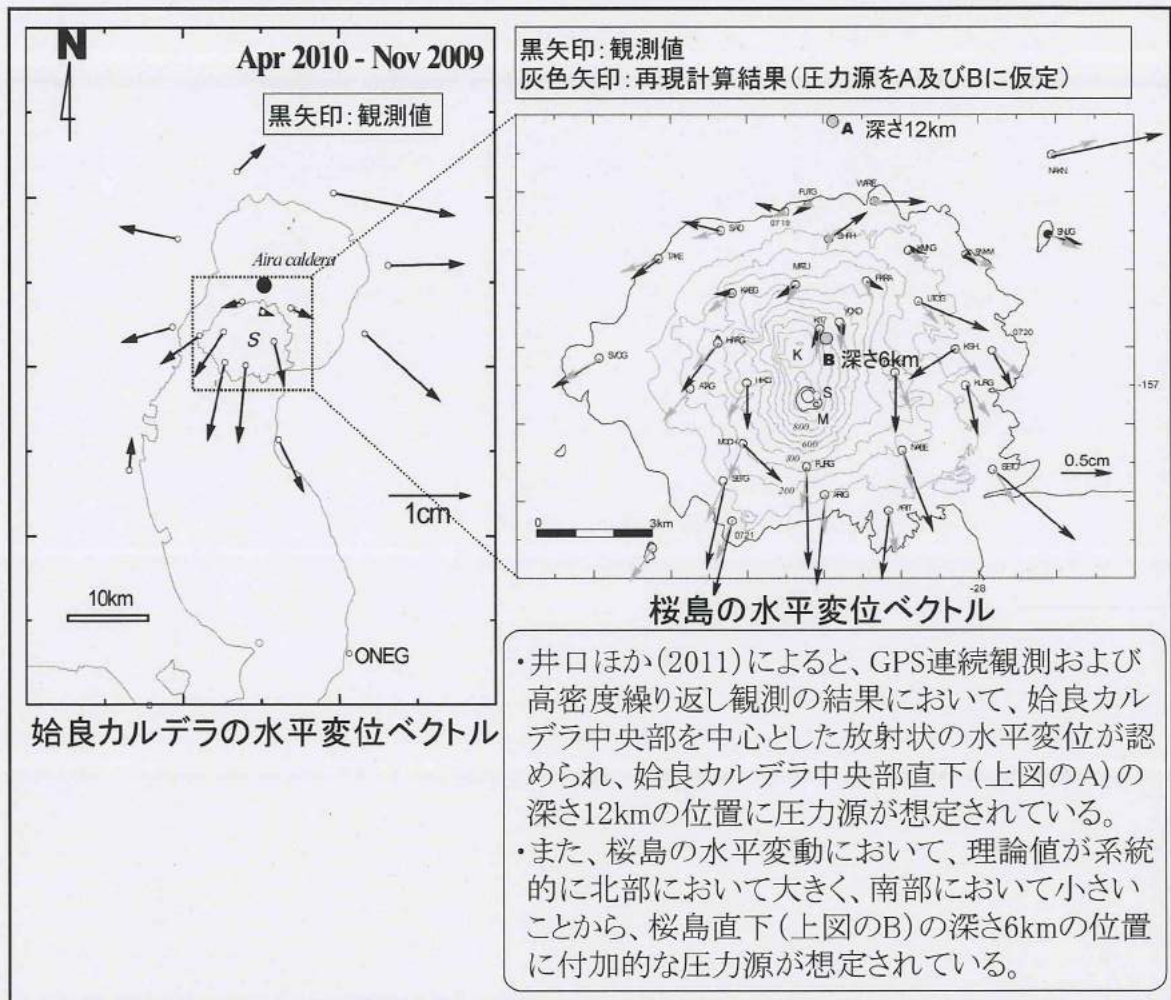
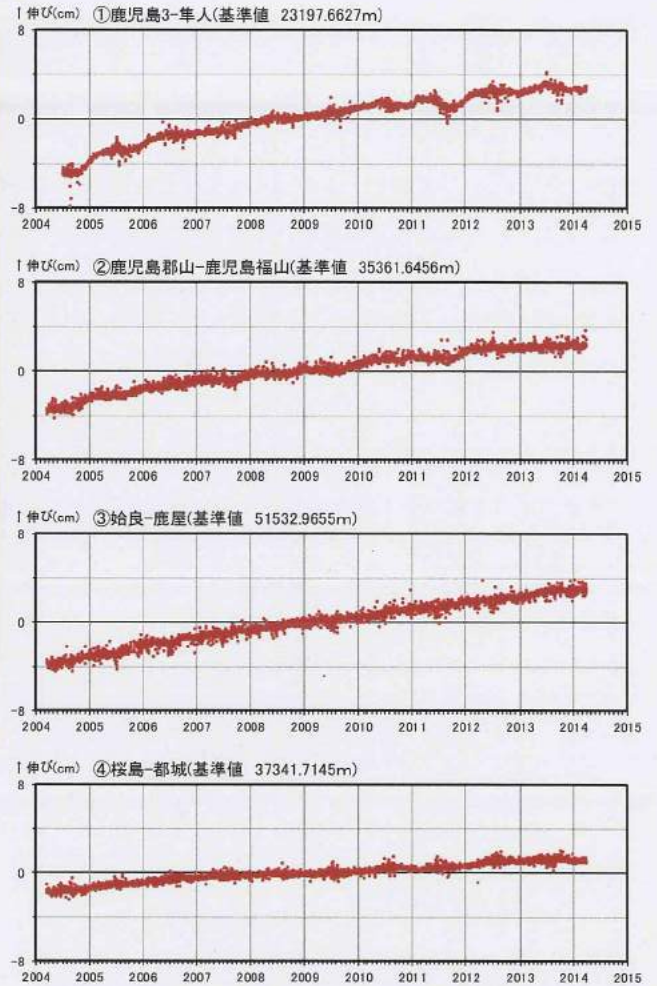
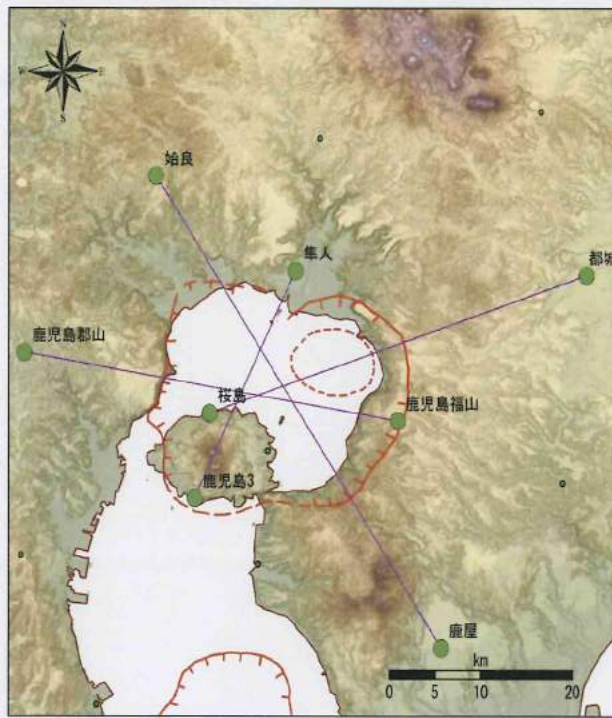


図9 地殻変動の観測結果に基づくマグマ溜まりの圧力源の深度

(井口ほか, 2011)

【図9の説明：左図は、始良カルデラ周辺のGPS観測（2009年11月～2010年4月）における各観測点の水平変位量を矢印で示したものであり、右図は、水平変位量を基に地下の圧力源（マグマの供給量、位置及び深さ）を求めたものである。その結果、始良カルデラ中央部から放射状の水平変位量が認められ、始良カルデラ中央部直下（右図のA）の深さ12kmの位置に圧力源が存し、桜島直下（右図のB）の深さ6kmの位置に小さな圧力源が存することが分かった。】



始良カルデラ 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 10 始良カルデラにおける地殻変動監視のための GPS 観測

【図 10 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 10 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。】

## ② 加久藤・小林カルデラ

ア 加久藤・小林カルデラの噴火間隔については、前述した鹿児島地溝における破局的噴火の噴火間隔に関する検討から、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。

また、図 11 に示すとおり、加久藤・小林カルデラにおける破局的噴火の噴火間隔は約 20 万年であり、現時点は直近の破局的噴火からの経過時間が約 33 万年である。このことだけからすれば破局的噴火のマグマ溜まりを形成している可能性を否定できないが、後記イ及びウから破局的噴火のマグマ溜まりを形成している可能性はない。

イ 加久藤・小林カルデラの噴火ステージについては、現在の噴火活動は、直近の破局的噴火以降、後カルデラ火山である霧島山においてイワオコシ軽石<sup>24</sup>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、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と考えられ、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。

ウ 加久藤・小林カルデラにおけるマグマ溜まりの状況については、鍵山ほか(1997)<sup>25</sup>によると、図 12 に示すとおり、霧島における低比抵抗領域(マグマ溜まりと考えられる)<sup>26</sup>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 とされており【乙イ B 41 (鍵山ほか(1997)) S159 頁】、地下約 10km 以浅のマグマ溜まりではない。また、新燃岳における噴出物の分析から、霧島のマグマ溜まりは安山岩質であると考えられる。したがって、破局的噴火を発生させる大規模な流紋岩質のマグマ溜まりではない。

また、Goto et al. (1997)<sup>27</sup>は、加久藤カルデラについて群発地震が発生した領域を対象として調査を実施したものであるが、深さ 10km 程度までに、低比抵抗領域は認められないとされており【乙イ B 42 (Goto et al. (1997)) 1279 頁】、地下約 10km 以浅に破局的噴火を発生させる大規模なマグマ溜まりはない。

さらに、図 13 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(なお、①の 2011 年頃に基線長の変

化が読み取れるが、これは新燃岳の噴火によるものである)、マグマ溜まりの顕著な増大は認められない。

エ 以上により、加久藤・小林カルデラについては、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。

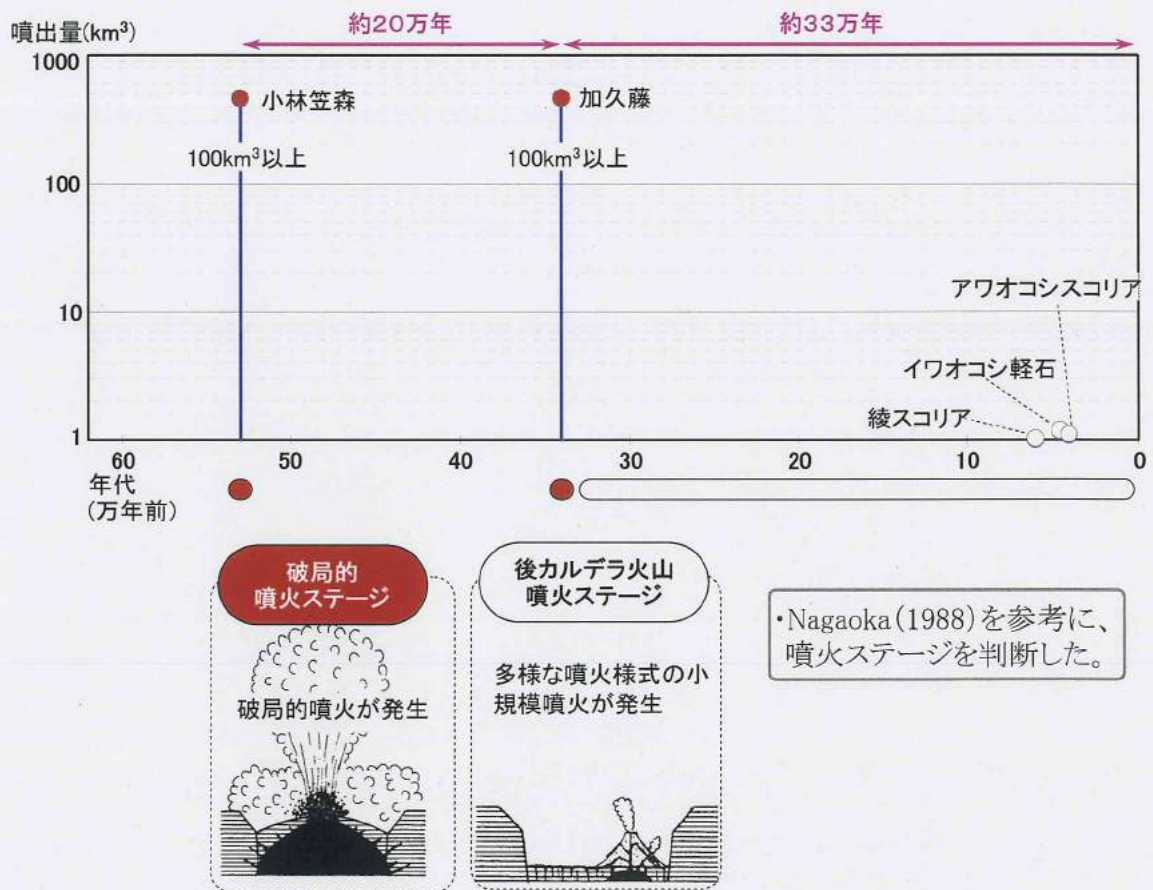
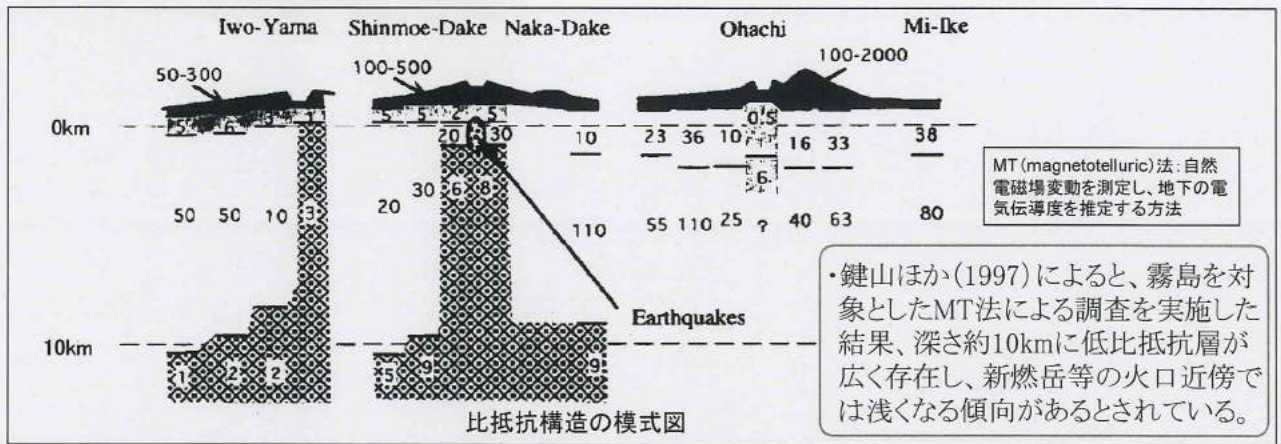


図 11 加久藤・小林カルデラの噴火履歴

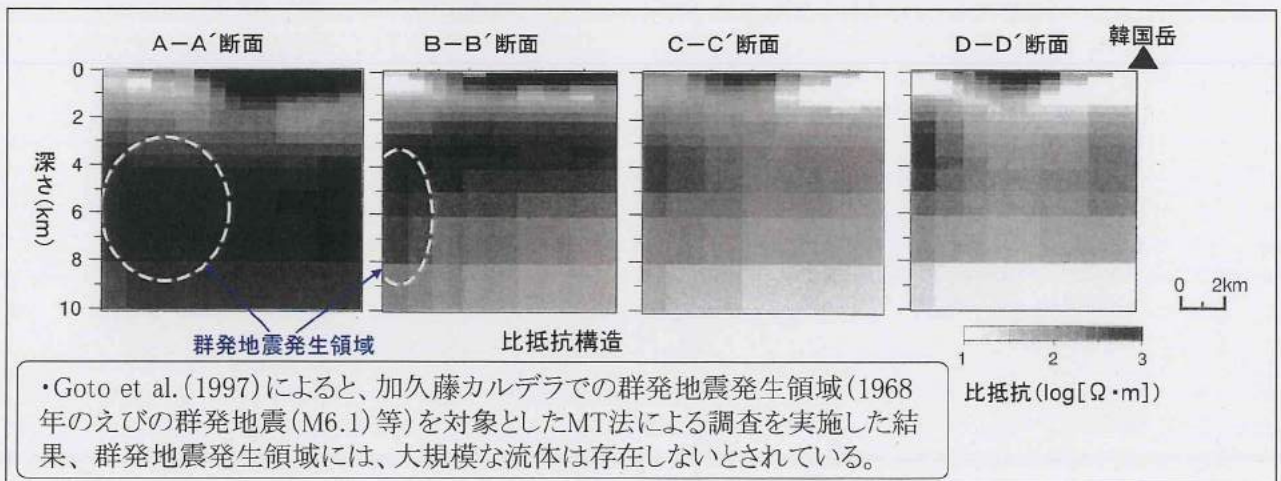


加久藤カルデラ ②加久藤カルデラの地下構造 (Goto et al., 1997)

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12 加久藤・小林カルデラの地下構造



【図 12 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。】

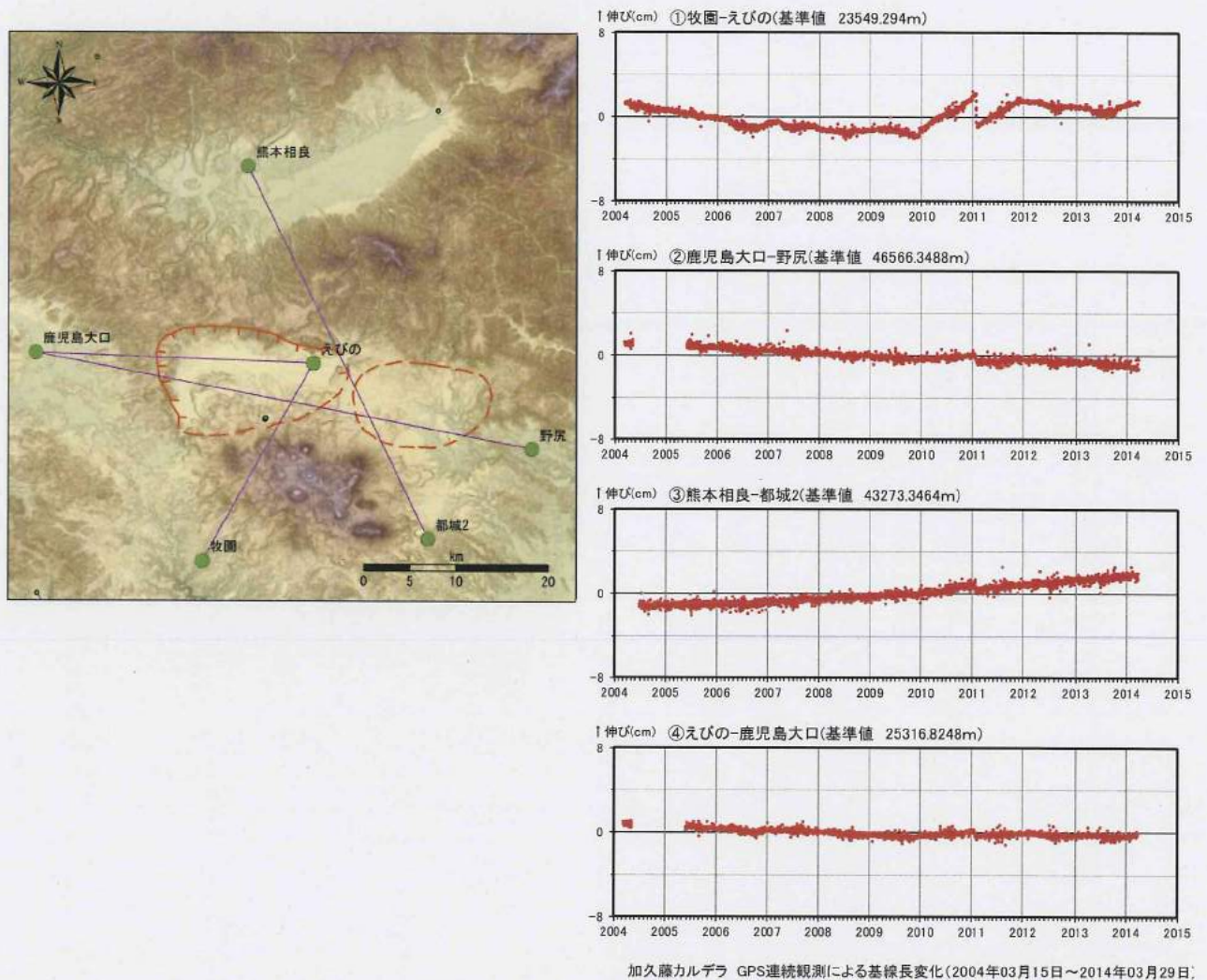


図 13 加久藤・小林カルデラにおける地殻変動監視のための GPS 観測

【図 13 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 13 では大きな変化は見られない。】

### ③ 阿多カルデラ

ア 阿多カルデラの噴火間隔については、前述した鹿児島地溝における破局的噴火の噴火間隔に関する検討から、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。

また、図 14 に示すとおり、阿多カルデラにおける破局的噴火の噴火間隔は約 14 万年であるのに対して、現時点は直近の破局的噴火からの経過時間が約 11 万年であり、経過時間が破局的噴火の噴火間隔に比べて十分に短く、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。

イ 阿多カルデラの噴火ステージについては、後カルデラ火山である開聞岳において、多様な噴火様式の小規模噴火が発生している。池田噴火<sup>28</sup>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が、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。また、プリニー式噴火ステージにあると仮定しても、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である約 0.6 万年に比べて十分長いことから、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。

ウ 阿多カルデラにおけるマグマ溜まりの状況については、国土地理院による電子基準点の解析結果によると、図 15 のとおり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。

エ 以上により、阿多カルデラについては、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。



阿多カルデラの噴火履歴



• Nagaoka (1988) によると、過去にプリニー式噴火ステージ、中規模火砕流噴火ステージが認められ、現在の開聞岳の活動は後カルデラ火山噴火ステージとされ、池田については、プリニー式噴火ステージの開始を示す噴火である可能性があるとされている。

図 14 阿多カルデラの噴火履歴

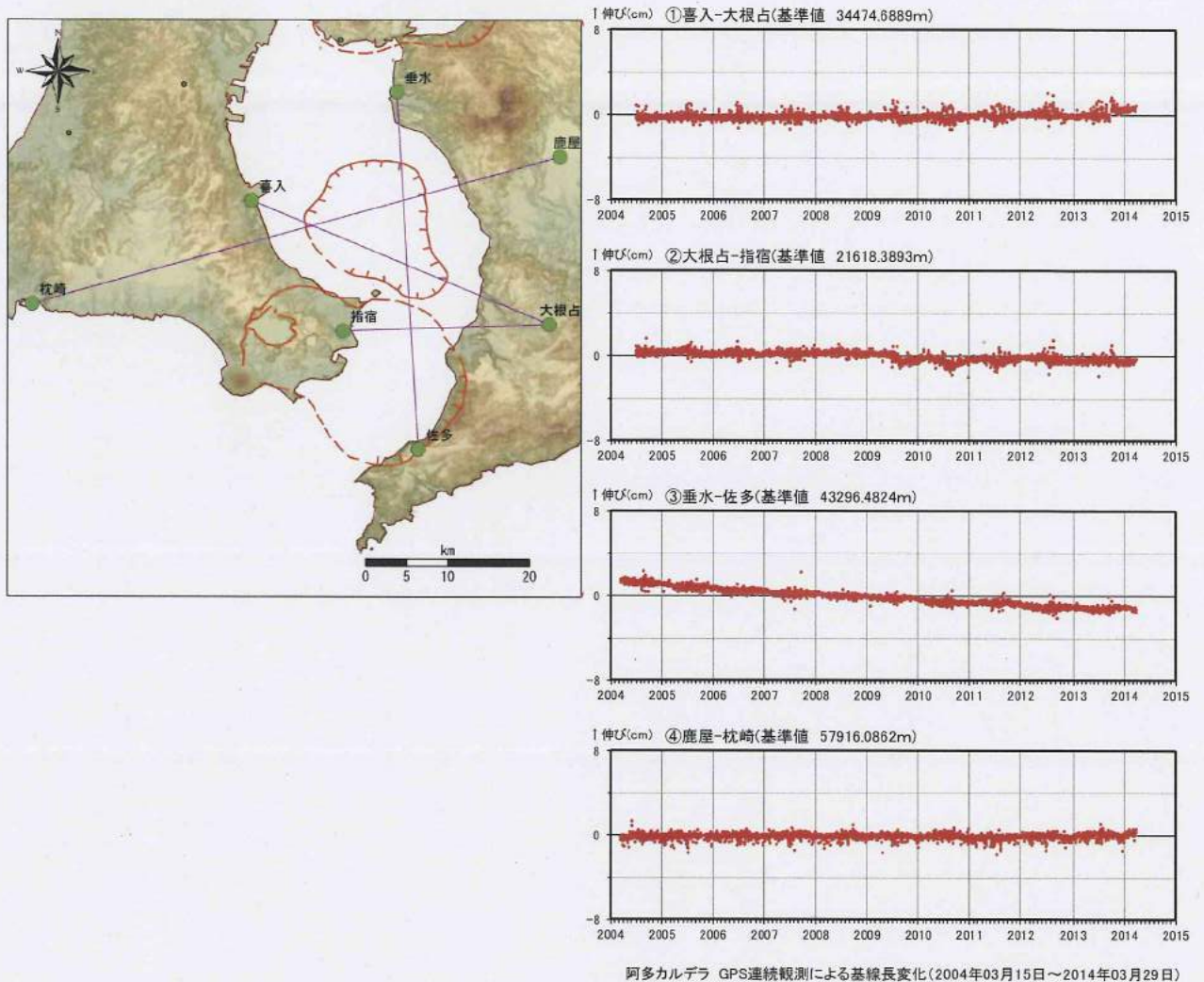


図 15 阿多カルデラにおける地殻変動監視のための GPS 観測

【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 15 では大きな変化は見られない。】

#### ④ 鬼界カルデラ

ア 鬼界カルデラの噴火間隔については、図 16 に示すとおり、破局的噴火の噴火間隔が約 5 万年であるのに対し、現時点は直近の破局的噴火からの経過時間が約 0.7 万年であるから、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。

イ 鬼界カルデラの噴火ステージについては、現在の鬼界カルデラにおける噴火活動は、後カルデラ火山である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、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と考えられ、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。

ウ 鬼界カルデラにおけるマグマ溜まりの状況については、前野ほか(2001)<sup>29</sup>によると、図17に示すとおり、約0.7万年前の破局的噴火である鬼界アカホヤ噴火時に蓄積されていたマグマは全て出尽くしており、現在の活動は、その後の新たな活動である【乙イB43(前野ほか(2001))272~274頁】。このことから鬼界カルデラに大規模な流紋岩質のマグマ溜まりは蓄積していないと考えられる。

この点、篠原ほか(2008)等によると、メルト包有物<sup>30</sup>に関する検討から、鬼界カルデラの地下3km程度にマグマ溜まりの存在が推定され、現在の火山ガスの放出量が800年間継続していたと仮定した場合、80km<sup>3</sup>以上のマグマ溜まりが存在すると推定されているものの、噴出物の分析によってマグマの大部分が玄武岩質マグマであり、破局的噴火を起こす流紋岩質マグマではないので【乙イB37(篠原ほか(2008))】、破局的噴火の危険性を示唆するものではない。

さらに、図18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。

エ 以上により、鬼界カルデラについては、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。

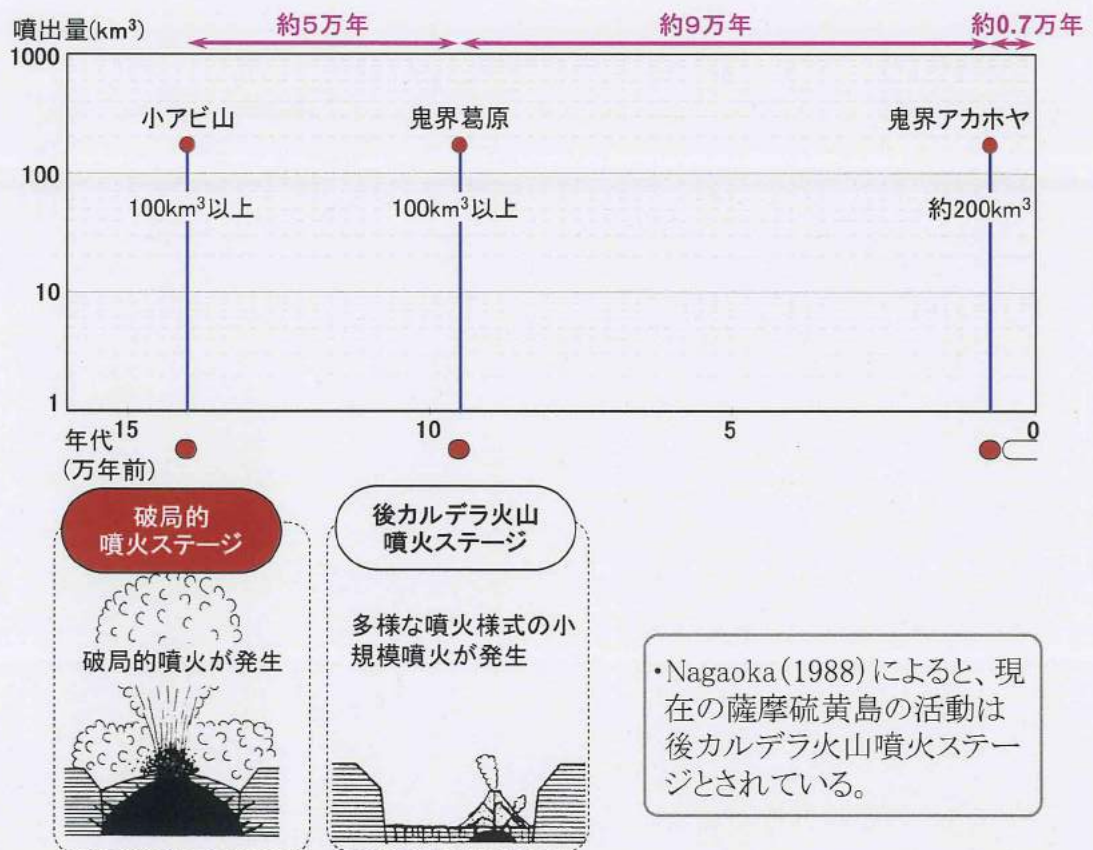
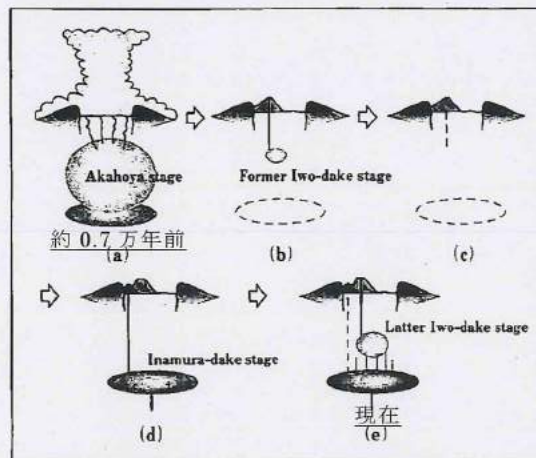


図 16 鬼界カルデラの噴火履歴



- ・前野ほか(2001)によると、全岩化学組成等に基づき、火山活動史と鬼界カルデラにおけるマグマ溜まりの進化について明らかにしている。
- ・鬼界アカホヤ噴火後、(d)稲村岳の活動では、アカホヤ噴火時とは異なる新たな苦鉄質マグマによる活動があり、(e)硫黄岳の現在の活動は、(b)とは異なる新たな流紋岩質マグマを噴出しているとしている。

図 17 鬼界カルデラにおけるマグマ溜まりの変遷 (前野ほか, 2001)

【図 17 の説明：約 0.7 万年前の鬼界アカホヤ噴火から現在に至るマグマ溜まりの進化についてモデル化したもので、地下深部の黒い楕円が苦鉄質マグマ、浅部の白い球が珪長質マグマを指す。(a)～(c)鬼界アカホヤ噴火により蓄積されていたマグマは出尽くしたが、(d)新たな苦鉄質マグマによる活動があり、(e)小規模な珪長質マグマを

形成し始めたことを示している。】

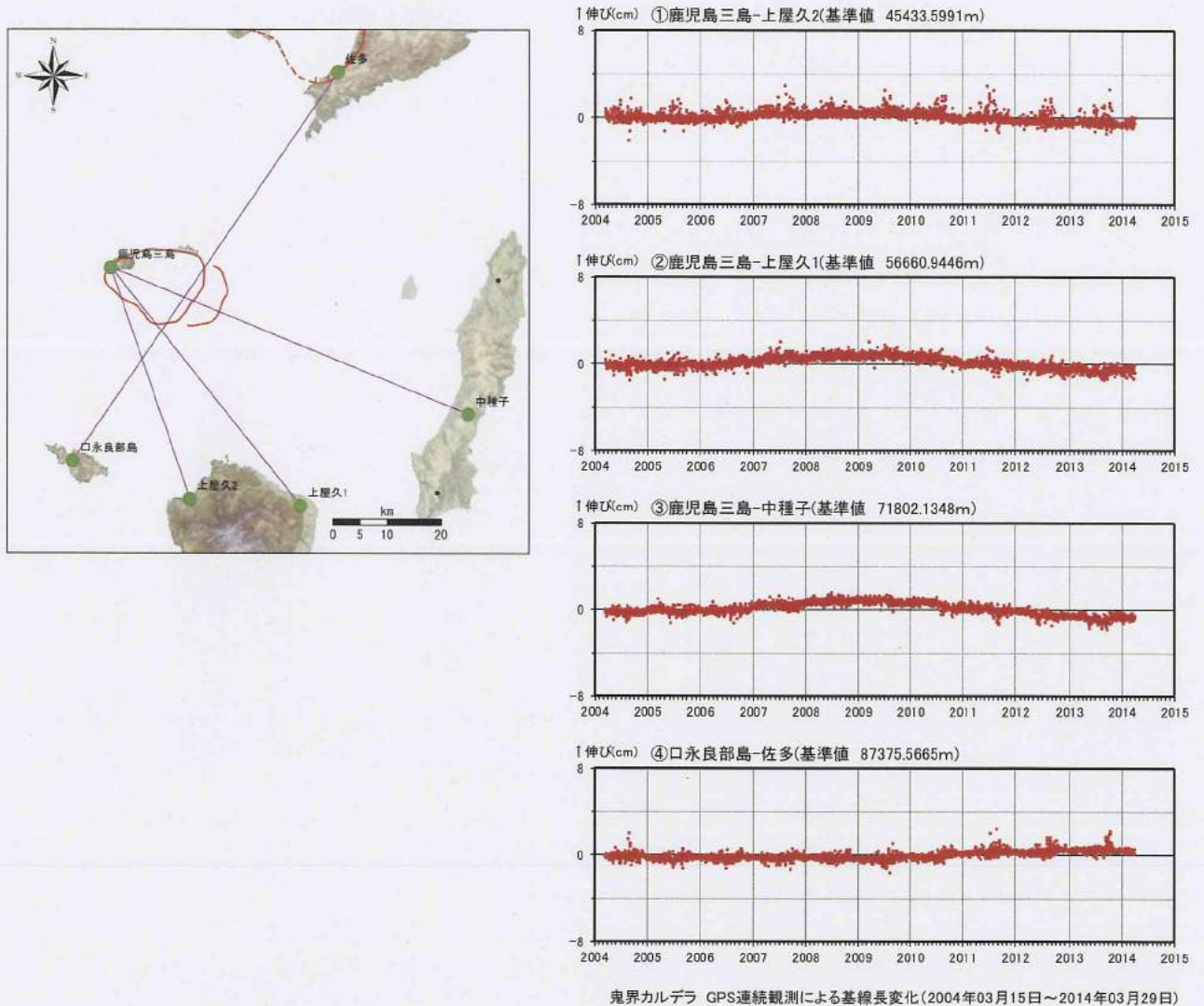


図 18 鬼界カルデラにおける地殻変動監視のための GPS 観測

【図 18 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 18 では大きな変化は見られない。】

## ⑤ 阿蘇カルデラ

ア 阿蘇カルデラの噴火間隔については、図 19 に示すとおり、破局的噴火の最短の噴火間隔は約 2 万年であり、現時点は直近の破局的噴火からの経過時間が約 9 万年であるから、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が、後記イ及びウより、破局的噴火のマグマ溜まりを形成している可能性はない。

イ 阿蘇カルデラの噴火ステージについては、現在の阿蘇カルデラにおける噴火活動は、直近の破局的噴火以降、後カルデラ火山である阿蘇山において草千里ヶ浜軽石<sup>31</sup>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、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と考えられ、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。

ウ 阿蘇カルデラにおけるマグマ溜まりの状況については、Sudo and Kong(2001)<sup>32</sup>は、図 21 に示す地震波トモグラフィの解析結果から、地下 6km に低速度領域（マグマ溜まりと考えられる）が認められるとしているものの【乙イ B 44(Sudo and Kong(2001)) 326 頁】、三好ほか(2005)<sup>33</sup>は、図 20 に示す苦鉄質火山噴出物や珪長質火山噴出物の分布状況から、大規模な珪長質マグマ溜まりはないとしている【乙イ B 45(三好ほか(2005)) 282 頁】。

また、高倉ほか(2000)<sup>34</sup>も、図 22 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）は認められないことから【乙イ B 46(高倉ほか(2000)) 26 頁】、地下約 10km 以浅に大規模なマグマ溜まりはない。

さらに、図 23 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。

エ 以上により、阿蘇カルデラについては、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。



**破局的噴火ステージ**

破局的噴火が発生

**後カルデラ火山噴火ステージ**

多様な噴火様式の小規模噴火が発生

●については、プリニー式噴火であるものの、噴火ステージは判断できない噴火

・Nagaoka(1988)を参考に、噴火ステージを判断した。

図19 阿蘇カルデラの噴火履歴

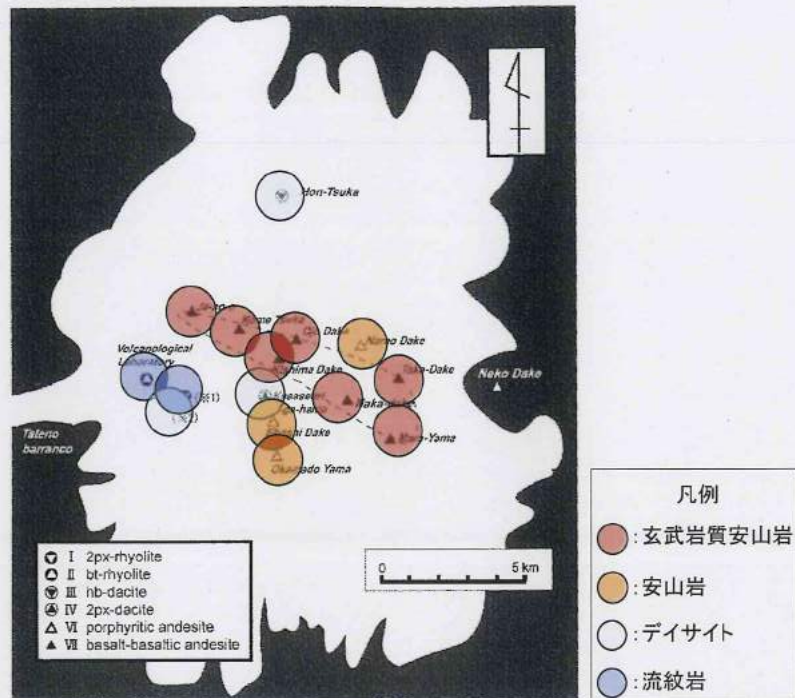
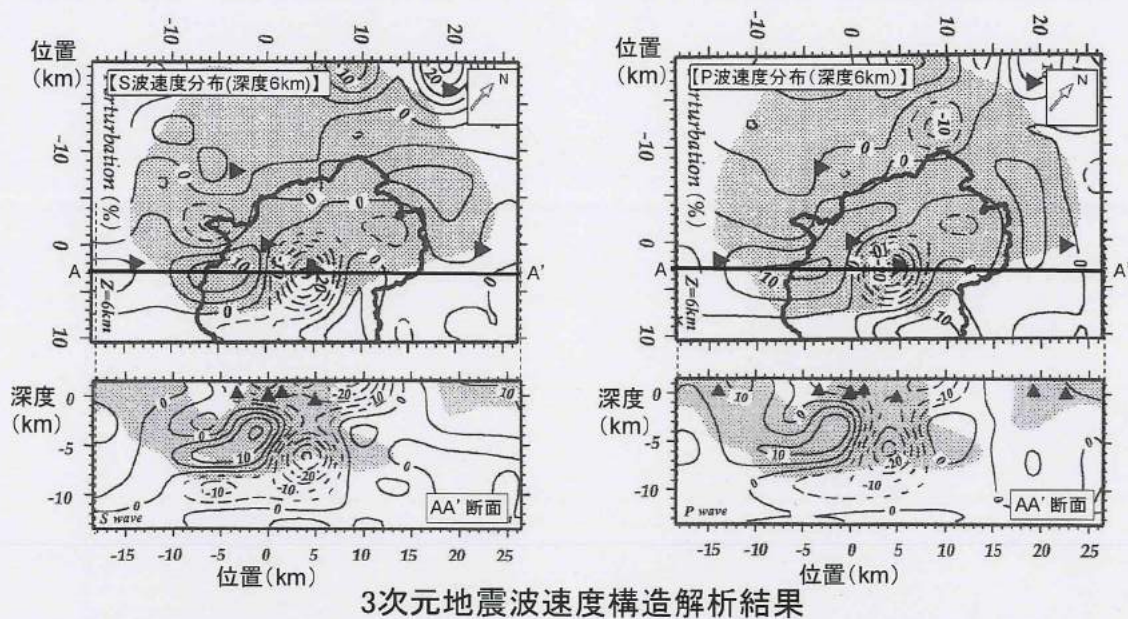


図20 阿蘇カルデラにおける大規模マグマ溜まりの存否 (三好ほか, 2005)

【図 20 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 20 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。】



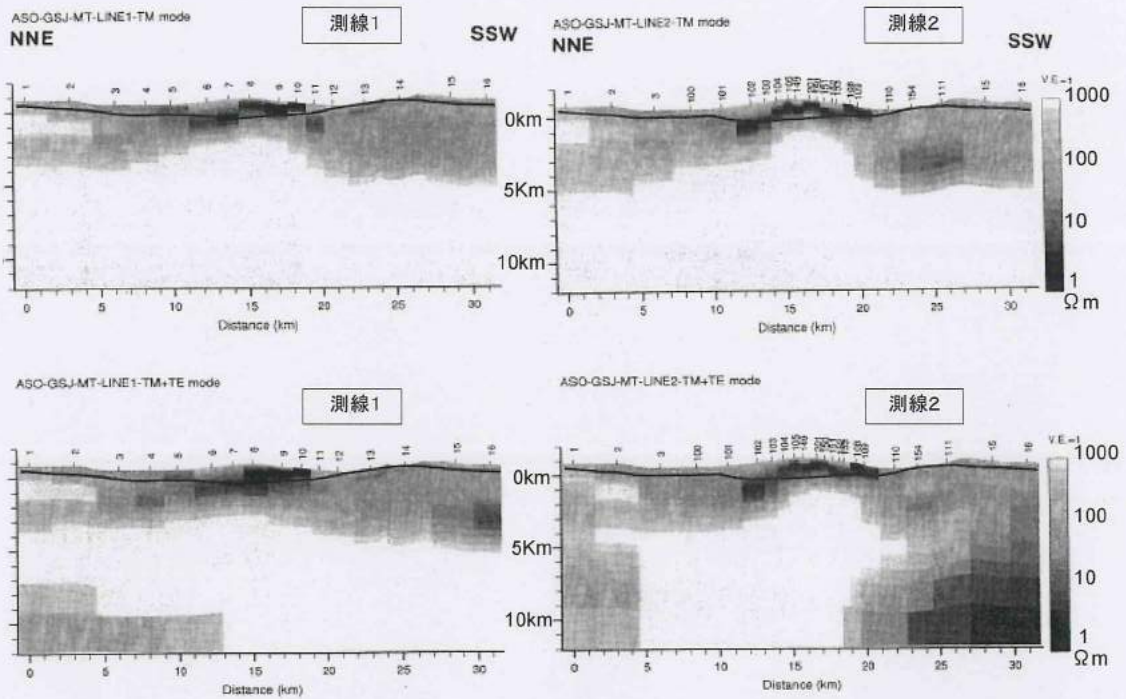
【3次元地震波速度構造解析】  
 地表上に設置された各地震計が測定した地震データを解析することによって、地球内部の3次元速度構造を求める手法のことである。固体の岩石とマグマの間では、弾性波速度に大きな差があるため、地震波速度の小さい領域からマグマ溜まりを推定することができる。

・ 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。

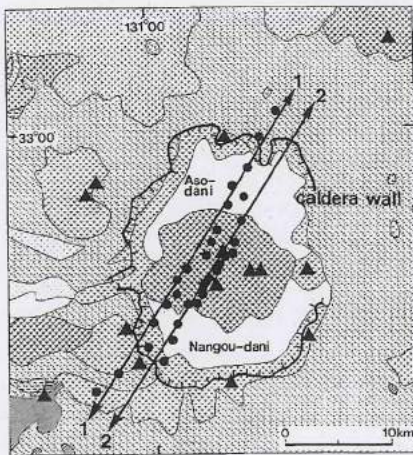
図 21 阿蘇カルデラにおける地下構造 (Sudo and Kong, 2001)

【図 21 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。】



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

※ 下段はTEモード(測線と直交する方向になるデータ)も使用した解析結果で、一般に垂直的な低比抵抗構造に対する分解能が高く、深部構造に対する感度が高いため、測線の側方に深部比抵抗構造が実際にある可能性と低周波のインダクションベクトルが示す広域的な構造の影響が虚像として現れた可能性がある。

図 22 阿蘇カルデラにおける地下構造 (高倉ほか, 2000)

【図 22 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。】

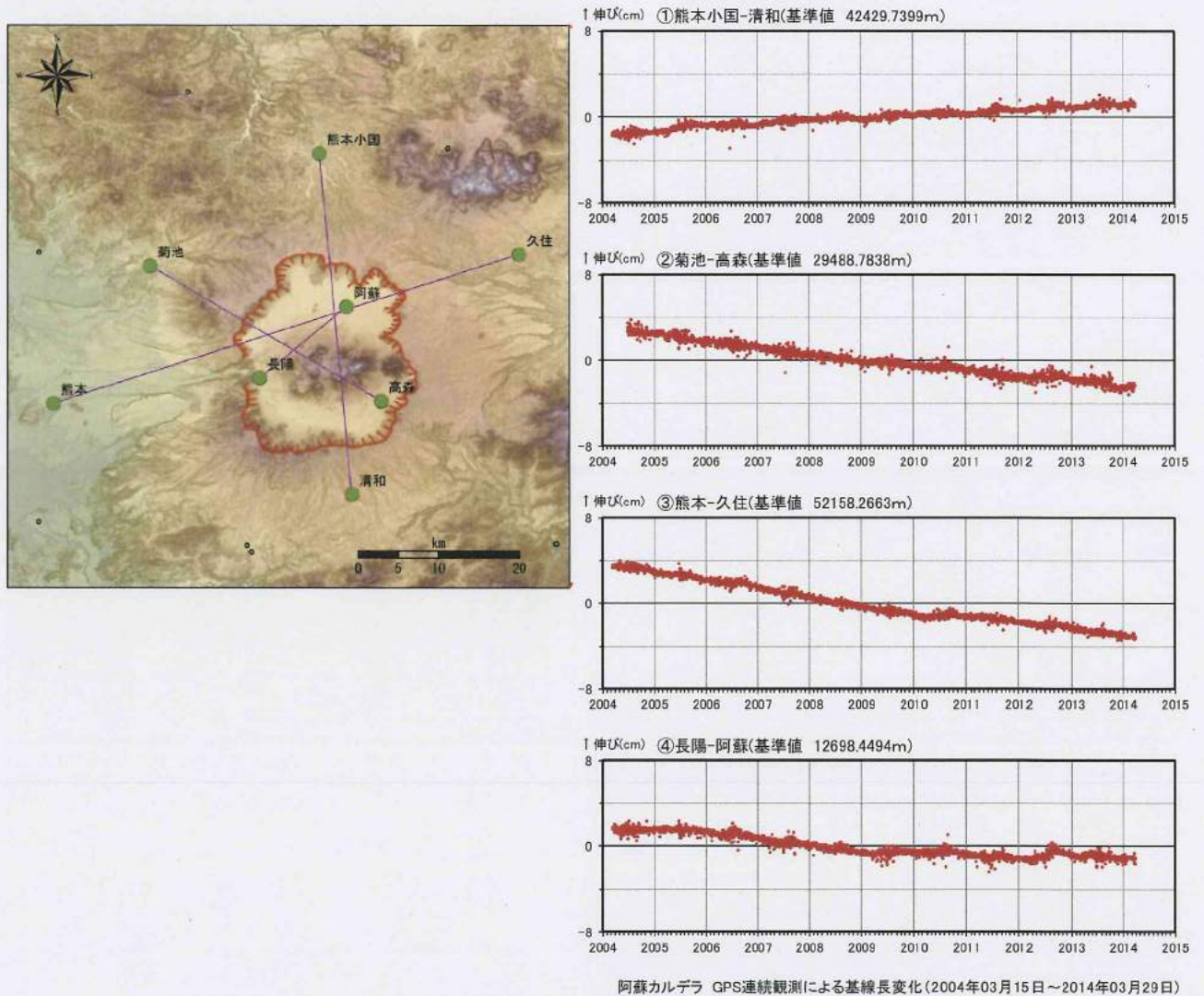


図 23 阿蘇カルデラにおける地殻変動監視のための GPS 観測

【図 23 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）ところ，図 23 では大きな変化は見られない。】

### 3 火山事象の影響評価

- (1) 上記2で述べたとおり、将来の活動可能性が否定できない火山のうち、5つのカルデラ火山については、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から、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・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））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。

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【乙イB31（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））11～36頁】。

- (2) 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【乙イB31（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））42～44頁，54～56頁】。

また、降下火砕物（火山灰等）については、過去最も影響が大きかった約5万年前の九重第1噴火を想定し、地質調査結果、文献調査結果及び数値シミュレーション結果を踏まえ、安全側に層厚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、安全性を確認した【乙イB31（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））45～53頁】。

## 第4 火山活動のモニタリング

### 1 序論

- (1) 上述したように、5つのカルデラ火山について、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ですが、被告九州電力は、念には念を入れて、火山活動のモニタリングを実施している【乙イB31(玄海原子力発電所 火山について(新規規制基準適合性審査資料)) 58頁】。

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正確な規模を「予知」することを目的としているものではない。

- (2) 上述したように、破局的噴火は、数万年から十数万年に1回程度の超大規模な噴火であり、噴出物量が100km<sup>3</sup>を超えるような大量のマグマが地下浅部に蓄積される必要がある。かかる大量のマグマの蓄積が進めば、火山周辺では基線長の変化や先行する巨大噴火の発生等の事象が生じるはずであり、事象の発生から破局的噴火に至るまでには少なくとも数十年の猶予がある。

被告九州電力は、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場合には、直ちに適切な対処を行うものであり、このような事象を把握する目的でモニタリングを行うものである。

- (3) なお、京都大学防災研究所は、昭和35年以来、我が国で最も噴火活動の活発な火山である桜島の活動を観測しており、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（総延長250mを超える2基の観測坑道に設置した高感度の水管傾斜計<sup>35</sup>及び伸縮計<sup>36</sup>等）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ている【乙イB47(井口(2014a))<sup>37</sup> 6頁】。

桜島のマグマ溜まりへのマグマの蓄積量は、現在も増加を続けてお

り、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、桜島大正噴火級の大噴火を考える時期に入ったとされている【乙イ B 48（井口（2014b）<sup>38</sup>）4 頁】。

このように、VEI5 クラスの噴火でもその兆候を把握できているところ、破局的噴火は VEI5 の数十倍以上の規模を有するのであり、山体の隆起・膨張等の兆候を把握することは、十分に可能である。

## 2 モニタリングの方法と体制

(1) モニタリングの方法と体制について、その概念図を図 24 に示す。

一般的な噴火モデルを踏まえると、マグマ溜まりへのマグマの供給、マグマの上昇等の段階を経て噴火に至るとされており【乙イ A 50（久保寺（1991）<sup>39</sup>）66～67 頁】、その最も早期の段階であるマグマの供給時に変化が現れる地殻変動及び地震活動をモニタリングの対象項目としている。

モニタリングにあたっては、既存観測網による地殻変動及び地震活動の観測データ、公的機関による発表情報等を収集・分析し、活動状況に変化がないことを定期的に確認することを基本としている。具体的には、地震活動については、発生数・発生場所等を分析して、異常な地震活動がないかを確認する。地殻変動については、GPS 観測を行って基線長の変化がある場合（マグマの供給があることを示唆する）には、茂木モデル<sup>40</sup>によってマグマ供給源の位置や供給量を算出し、異常なマグマの供給がないかを確認する。

そして、対象火山の状態に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性を評価する。

また、破局的噴火への発展の可能性がある場合に備え、使用済燃料の搬出にかかる貯蔵方法、輸送方法、体制について事前検討を行うとともに、その計画策定手順を定めることとしており、火山活動のモニ

タリングにより、破局的噴火への発展の可能性があると判断されれば、あらかじめ定めた計画策定手順に従い、事前検討を踏まえ、具体的な搬出計画を策定し、使用済燃料の搬出等を行うこととしている。

なお、被告九州電力は、継続的に新しい知見の確保に努めるなどして、本件原子力発電所の安全性向上策に取り組むものであるところ、このモニタリングに関しても、今後 GPS 観測点を増設し、水平方向の地殻変動の高精度化を図るとともに、水準測量による鉛直方向の地殻変動把握の高精度化を実施し、人工地震探査によるマグマ溜まりの特定を行い、観測の精度を高める努力を継続する方針である。

- (2) モニタリングの体制について、モニタリング結果の評価における透明性・公平性を確保するために、火山専門家等による助言を得る仕組みを構築している。また、破局的噴火の兆候等に関する知見を収集し、火山専門家等の助言を得ながら、破局的噴火の評価手法の高度化を継続的に行っていく所存である。

これら火山活動の評価結果については、社長を委員長とするカルデラ火山対応委員会に定期的に報告し、委員会は、火山活動の定期的評価の確認、破局的噴火への発展性評価の確認、及び発電所等の対応状況の確認を実施することとしている。



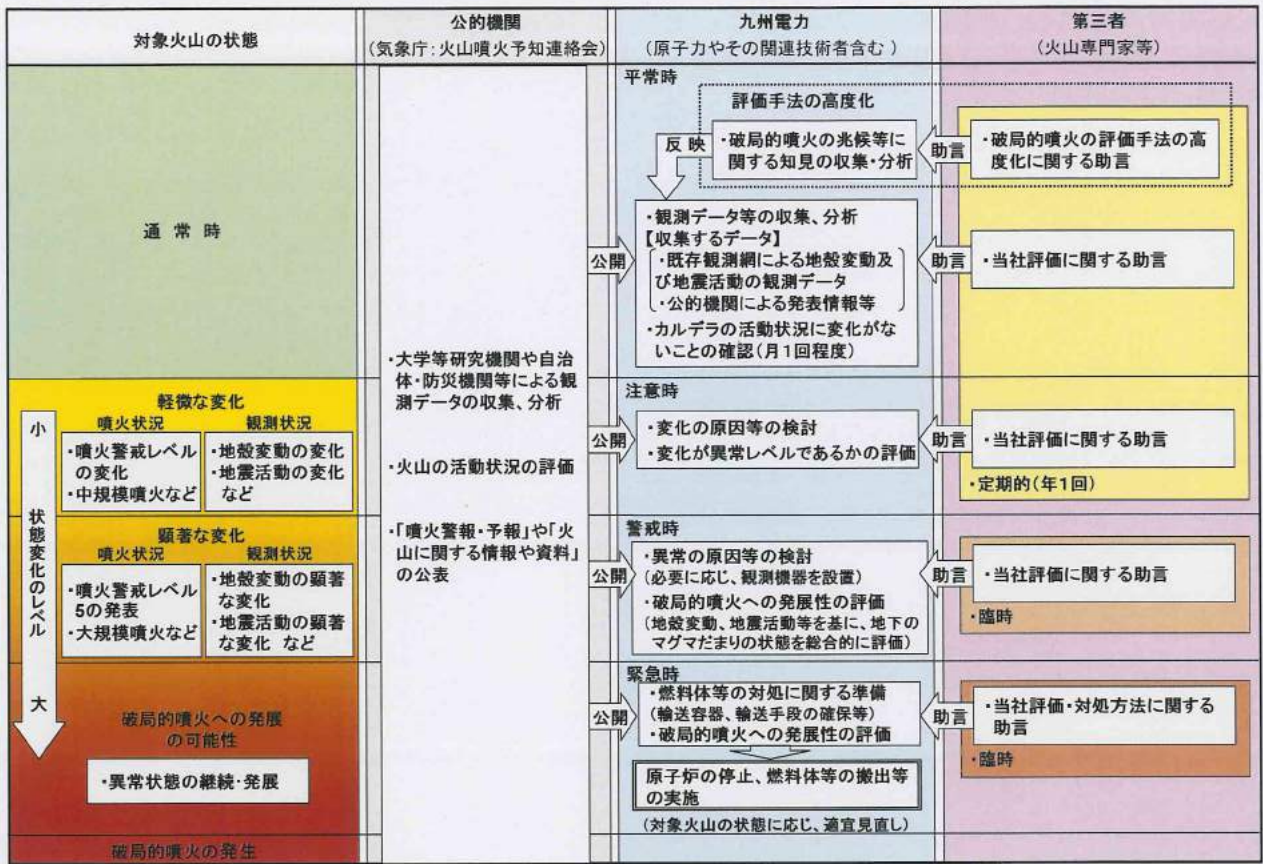


図 24 モニタリングの方針と体制

### 3 監視レベルと移行判断基準

(1) 上述のように、破局的噴火の前には数十年から数百年かけて急激にマグマが供給されると考えられており、Druitt et al. (2012) によるとミノア噴火においてはマグマ増加率が  $0.05\text{km}^3/\text{年}$  を超えていた【乙イA49 (Druitt et al. (2012)) 79 頁】。

被告九州電力は、これらの知見を踏まえ、マグマ供給率を主体とする具体的な判断基準を図 25 に示すとおり設定した。

すなわち、監視レベルについて、マグマ供給率が  $0.01\text{km}^3/\text{年}$  未満を「平常」、マグマ供給率が  $0.01\text{km}^3/\text{年}$  以上から  $0.05\text{km}^3/\text{年}$  未満を「注意」、マグマ供給率が  $0.05\text{km}^3/\text{年}$  以上から  $0.10\text{km}^3/\text{年}$  未満を「警戒」、マグマ供給率が  $0.05\text{km}^3/\text{年}$  以上から  $0.10\text{km}^3/\text{年}$  未満かつカル

デラの活動と判断される場合、又は対象火山のマグマ供給率が  $0.10\text{km}^3/\text{年}$ 以上を「緊急」とし、各レベルに応じて空振りも覚悟で適切な対処を行う。

監視レベル	判断基準		監視体制	起こりうる噴火規模【噴出量】
	マグマ供給率 ( $\times 0.01\text{km}^3/\text{年}$ )			
平常	□ □	1未満	<ul style="list-style-type: none"> <li>GPS連続観測による基線長変化</li> <li>地震観測による震源分布</li> </ul> → 変化の原因等の検討	2011年新燃岳【 $0.1\text{km}^3$ 未満】
注意		1～5未満	<ul style="list-style-type: none"> <li>GPS連続観測による基線長変化</li> <li>地震観測による震源分布</li> </ul> → 変化の原因等の検討	
警戒	マグマ供給率の増加 	5～10未満	詳細観測の実施 (GPSの増設等による圧力源の検討) ↓ 異常の原因等の検討 → 活動的なマグマ溜まりの特定 → 後カルデラの活動 → 継続監視	大正噴火【 $2\text{km}^3$ 】 桜島薩摩【 $11\text{km}^3$ 】
緊急			詳細観測の実施 (GPSの増設等による圧力源の検討) → 対処準備 → 燃料体等の搬出等	

図 25 監視レベルの移行判断基準と監視体制

(2) 上述したように、マグマ溜まりに増大があればカルデラ火山周辺の基線長に変化が生じ、マグマ供給率も基線長変化から算定できる。

万が一監視レベルが「警戒」ないし「緊急」に達し、燃料を搬出する必要が生じた場合であっても、上述のとおり破局的噴火に発展するまでには少なくとも数十年以上の猶予はあり、燃料を搬出するための十分な時間があるため、万全な対応が可能である。

## 第5 結論

以上のとおり、被告九州電力は、本件原子力発電所の運用期間において、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おり、また、5つのカルデラ火山について火山活動のモニタリングを行い、破局的噴火への発展の可能性がある場合は、原子炉停止・燃料体等の搬出等を実施することとしている。

従って、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が存しないことは明らかである。

以 上

## <用語説明>

### 1 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。

### 2 原子力発電所の運用期間

原子力発電所に核燃料物質が存在する期間。

なお、発電用原子炉を運転できる期間については、原則として使用前検査に合格した日から起算して 40 年であり、一定の基準を満たした場合に原子力規制委員会の認可によって 20 年を限度として一回に限り延長することができる（原子炉等規制法 43 条の 3 の 32 第 1 項ないし第 3 項）、最長でも 60 年である。

運転終了後に核燃料物質を搬出する時期については、法令の定めはなく現時点では確定できないが、原子炉廃止措置にかかる期間（20～30 年程度と想定されている【乙イ A 51（資源エネルギー庁「原子力依存度低減の達成に向けた課題」）4～5 頁】）の内に計画的に搬出することになる。

### 3 破局的噴火

100km<sup>3</sup>以上の噴出物を伴う噴火。

### 4 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 火砕流堆積物の到達距離 155km）を参考に 160km と設定した。

### 5 鹿児島地溝

鹿児島湾から加久藤・小林カルデラまで（南北約 75km、東西の幅約 20km）まで続く、第四紀（約 260 万年前以降）の沈降運動によって形成された陥没地形。

### 6 小林・矢野（2007）

小林哲夫・矢野徹(2007)：南九州の地質・地質構造と温泉，温泉科学，第 57 巻，pp.11-29.

### 7 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。

8 Nagaoka (1988)

Nagaoka, S. (1988) : The late Quaternary tephra layers from the caldera volcanoes in and around Kagoshima bay, Southern Kyushu, Japan. Geographical Reports of Tokyo Metropolitan University, vol.23, pp.49-12

9 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砕屑物の総称。

10 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。

11 小林ほか（2010）

小林哲夫・奥野充・長岡信治・宮縁育夫・井口正人・味喜大介（2010）：大規模カルデラ噴火の前兆現象－鬼界カルデラと始良カルデラ－，京都大学防災研究所年報，第53号B，pp.269-275.

12 前野（2014）

前野深（2014）：カルデラとは何か：鬼界大噴火を例に，科学，vol.84，No.1，pp.58-63.

13 荒牧（2003）

荒牧重雄（2003）：カルデラ噴火の地学的意味，「死都日本」シンポジウム－破局噴火のリスクと日本社会－ 講演要旨集.

14 兼岡・井田（1997）

兼岡一郎・井田喜明（1997）：火山とマグマ，東京大学出版会.

15 東宮（1997）

東宮昭彦（1997）：実験岩石学的手法で求めるマグマ溜まりの深さ，月刊地球，第19巻，第11号，pp.720-724.

16 流紋岩質マグマ

固化すると珪長質の火成岩となるシリカと長石成分に富むマグマ。

17 篠原ほか（2008）

篠原宏志・斎藤元治・松島喜雄・川辺禎久・風早康平・浦井 稔・西 祐司・斎藤英二・濱崎聡志・東宮昭彦・森川徳敏・駒澤正夫・安原正也・宮城磯治（2008）：火山研究解説集：薩摩硫黄島，地質調査総合センター.

18 高橋（2014）

高橋正樹（2014）：超巨大噴火のマグマ溜りに関する最近の研究動向，日本

火山学会講演予稿集 2014年度 秋季大会, pp.98.

19 安田・藤井 (2014)

安田敦・藤井敏嗣 (2014) : 始良カルデラ噴火のマグマ溜まり深度, 日本火山学会講演予稿集 2014年度 秋季大会, pp.178.

20 Druitt et al. (2012)

Druitt, T. H., Costa, F., Deloule, E., Dungan, M. and Scaillet, B. (2012): Decadal to monthly timescales of magma transfer and reservoir growth at a caldera volcano. *Nature*, vol.482, pp.77-80.

21 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。

22 井口ほか (2011)

井口正人・太田雄策・中尾 茂・園田忠臣・高山鐵朗・市川信夫(2011) : 桜島昭和火口噴火開始以降の GPS 観測, 「桜島火山における多項目観測に基づく火山噴火準備過程解明のための研究」平成 22 年度報告書, pp.47-53.

23 電子基準点

測量における基準点, 観測点の一つである。国土地理院は精度の高い測量網, 地殻変動を監視するシステムとして GPS 連続観測システム (GEONET: GPS Earth Observation Network System) を構築した。電子基準点は, その観測点 (GPS 連続観測点) である。

24 イワオコシ軽石

後カルデラ火山である霧島火山の噴火活動のうち, 最も規模の大きな噴火であり, 約 6 万年前のこの噴火により大浪池が形成されたと考えられている。

25 鍵山ほか (1997)

鍵山恒臣・歌田久司・三ヶ田均・筒井智樹・増谷文雄 (1997) : 霧島火山群の構造とマグマ供給系, 火山, 第 42 巻, 特別号, pp.157-165.

26 比抵抗

比電気抵抗の略。抵抗率ともいう。物体の電気抵抗は, 同じ材料でつくっても, 形, 大きさ, 電流の流し方によって異なる。物質固有の電気抵抗を表すものが比抵抗である。

地下の比抵抗が低い箇所は, 熱く柔らかい物質であるマグマが滞留していることが想定される。

27 Goto et al. (1997)

Goto, T., Oshiman, N. and Sumitomo, N. (1997): The resistivity structure around the hypocentral area of the Ebino earthquake swarm in Kyushu

district, Japan. J.Geomag. Geoelectr., vol.49, pp.1279-1291.

28 池田噴火

約 6,400 年前に現在の池田湖付近から発生した噴火であり，プリニー式噴火や大規模な火砕流の噴出に伴い現在の池田カルデラが形成された。

29 前野ほか (2001)

前野深・宮本毅・谷口宏充 (2001) : 鬼界カルデラにおけるアカホヤ噴火以降の火山活動史，東北アジア研究，第 6 号，pp.253-277.

30 メルト包有物

マグマ内部で成長した結晶中にとりこまれた熔融した岩石の小片のこと。メルト包有物を分析することで，地下のマグマ内の状態を把握することができる。

31 草千里ヶ浜軽石

後カルデラ火山である阿蘇山の噴火活動のうち，約 3 万年前に発生した最も規模の大きな噴火である。

32 Sudo and Kong (2001)

Sudo, Y. and Kong L.S.L (2001) : Three-dimensional seismic velocity structure beneath Aso Volcano, Kyushu, Japan. Bull. Volcanol, vol.63, pp.326-344.

33 三好ほか (2005)

三好雅也・長谷中利昭・佐野貴司 (2005) : 阿蘇カルデラ形成後に活動した多様なマグマとそれらの成因関係について，火山，第 50 巻，第 5 号，pp.269-283.

34 高倉ほか (2000)

高倉伸一・橋本武志・小池克明・小川康雄 (2000) : MT 法による阿蘇カルデラの比抵抗断面，CA 研究会論文集，pp.23-30.

35 水管傾斜計

傾斜計とは，地殻変動に伴う地盤の傾斜変化を測定する計器のこと。地震の前兆としての異常地殻変動を把握したり，火山噴火に先立つ火山体の膨張・隆起を観測する目的のほか，地球潮汐の変動の測定にも用いられる。

一般的に水管傾斜計は数 m～数十 m の管に水を入れたものであり，横穴の中に設置して，管の両端の水位の差を計測し，火山体の膨張・隆起を把握する。

36 伸縮計

地面の 2 点間の伸び縮みを測定する計器のこと。一般的に 20～30m 程度離れた 2 点に支柱を立て，この間に温度変化の影響の少ない特殊合金製鋼線（ワイヤ）を張り，一端を固定し，他端に自己記録装置をつける。地表の伸縮に応

じて支点間の距離が伸縮するのを適当な倍率に拡大して記録する。

37 井口 (2014a)

井口正人 (2014) : 九州の火山における火山噴火予知と災害予測ーインドネシアの火山噴火からのフィードバック, 日本火山学会講演予稿集 2014年度秋季大会 火山防災シンポジウムー九州の火山活動と災害ー, pp.5-10.

38 井口 (2014b)

井口正人 (2014) : 桜島大正噴火から 100 年を迎えて, 季刊 消防科学と情報, No.116 (2014 春号) .

39 久保寺 (1991)

久保寺 章 (1991) : 火山噴火のしくみと予知, 古今書院.

40 茂木モデル

水準測量などの地表の面的な変動データを用いて, 地下のマグマ溜まりの深さを推定する手法。Mogi (1958) により提唱され【乙イA52 (Mogi(1958)) 104~105 頁】, 数多くの実績から茂木モデルと呼ばれ, 今日においてもなお広く用いられ, 世界的に定着している。